

**VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA  
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY  
KATEDRA ELEKTROENERGETIKY**

**NÁVRH MODERNIZACE KOBKOVÉ ROZVODNY 6 kV  
PROJECT OF 6 kV CUBICLE SWITCHBOARD RENOVATION**

**2010**

**Bc. LUKÁŠ PRACNÝ**

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval zcela samostatně a uvedl veškeré literární prameny, ze kterých jsem čerpal.

Bc. Lukáš Pracný

7.května 2010

## **PODĚKOVÁNÍ**

Touto cestou děkuji panu doc. Dr. Ing. Jiřímu Gureckému a panu Ing. Tomášovi Sniegoňovi za pomoc a rady při vypracování této diplomové práce.

## ABSTRAKT

Tato diplomová práce se věnuje modernizaci kobkové rozvodny vn. V teoretické části se zabývá problematikou modernizace způsoby, kterými se mění koncepce nejen rozvoden, ale celých rozvodů elektrické energie. Seznamuje nás se základním provedením rozvoden vn a s typy přístrojů, které se pro jednotlivá provedení používají, včetně základních parametrů těchto přístrojů a jejich hodnot.

V praktické části popisuje dimenzování elektrických přístrojů, používaných v kobkových rozvodnách vn, s ohledem na krátkodobý zkratový proud a dynamický zkratový proud. Vysvětluje postup výpočtu zkratových proudů dle ČSN EN 60909-0 a následný přepočet na zkratové proudy udávané výrobcí. Rovněž je její součástí výpočet omezení zkratových proudů na požadovanou hodnotu. Dále přibližuje postup návrhu přístrojů pro jednotlivé kobky, složení kobek a vazeb mezi jednotlivými přístroji.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Zkratový výkon; krátkodobý zkratový proud; dynamický zkratový proud; kobka; výkonový vypínač; odpojovač; ochrana; přístrojový transformátor proudu; přístrojový transformátor napětí

## ABSTRACT

This thesis is dedicated to upgrading of cubicles high-voltages distribution point.. In the theoretical part deals with the modernization of methods for changing the concept not only distribution points, but the whole power lines. Acquaints us with the basic implementation of high-voltage distribution point and types of devices that are used for individual performance, including the basic parameters of these devices and their values.

The practical part describes the project of electrical devices used in high voltage cubicles distribution point, with regard to short-circuit current and dynamic short-circuit current. Explains the procedure for calculating short circuit currents according to IEC 60909-0 and the subsequent conversion to short-circuit currents provided by the manufacturer. It is also part of the calculation of the limitation of short circuit currents at the desired value. Furthermore, close process equipment project for each cubicles, the composition of the cubicles and the connections between devices.

## KEY WORDS

Short-circuit power; short-circuit current; dynamic short-circuit current; cubicle; a circuit breaker; disconnecter; protection; current transformers; voltage transformers

**POUŽITÉ SYMBOLY A ZKRATKY**

A	ampér	PTN	přístrojový transformátor napětí
AC	střídavý	PTP	přístrojový transformátor proudu
c	napěťový součinitel	R	elektrický činný odpor
$\cos \varphi$	účinník	$R_K$	elektrický činný odpor na kilometr délky
f	frekvence	$R_L$	elektrický činný odpor vedení
H	Henry	$R_R$	elektrický činný odpor reaktoru
Hz	Hertz	$R_S$	elektrický činný odpor soustavy
I	elektrický proud	$R_{WL}$	elektrický činný odpor kabelového vedení
$I_{(0)}$	proud netočivé složkové soustavy	$S_K''$	počáteční souměrný rázový zkratový výkon
$I_{(1)}$	proud sousledné složkové soustavy	$SF_6$	fluorid sírový
$I_{(2)}$	proud zpětné složkové soustavy	$u_K$	procentní napětí nakrátko
$I_{In}$	jmenovitý proud zařízení	$U_n$	jmenovité elektrické napětí
$i_b$	souměrný zkratový vypínací proud	V	volt
$I_{DYN}$	jmenovitý dynamický zkratový proud	VN	vysoké napětí
$I_K$	ustálený zkratový proud	VVN	velmi vysoké napětí
$I_K''$	počáteční souměrný rázový zkratový proud	$\omega$	úhlová rychlost
$i_p$	nárazový zkratový proud	$t_{min}$	minimální doba vypnutí
$I_{Rn}$	jmenovitý proud reaktoru	y	napětí vinutí transformátoru
$I_{th}$	ekvivalentní oteplovací zkratový proud	Y	zapojení vinutí do hvězdy
$I_{SC}$	jmenovitý vypínací zkratový proud	x	primární proud přístrojového transformátoru proudu
$I_{VYP}$	jmenovitý zapínací zkratový proud	X	reaktance
$K_T$	korekční součinitel impedance	$X_K$	reaktance na kilometr délky
kA	kiloampér	$X_L$	reaktance vedení
km	kilometr	$X_R$	reaktance reaktoru
kV	kilovolt	$X_S$	reaktance soustavy
$\kappa$	součinitel nárazového zkratového proudu	$X_{WL}$	reaktance kabelového vedení
l	délka	Z	impedance
L	indukčnost	$Z_{(0)}$	netočivá zkratová impedance
$L_K$	indukčnost na jeden kilometr	$Z_{(1)}$	sousledná zkratová impedance
mH	milihenry	$Z_{(2)}$	zpětná zkratová impedance
MVA	megavoltampér	$Z_K$	impedance na kilometr délky
MVA <sub>r</sub>	megavoltampér reaktanční	$Z_L$	impedance vedení
n	počet paralelních kabelů	$Z_R$	impedance reaktoru
NN	nízké napětí	$Z_S$	impedance soustavy
ot. min <sup>-1</sup>	otáčky za minutu	$Z_{WL}$	impedance kabelového vedení
$\Omega$	ohm	%	procenta
$P_{In}$	jmenovitý činný příkon		

**OBSAH**

<b>1</b>	<b>Úvod .....</b>	<b>- 1 -</b>
<b>2</b>	<b>Teoretický rozbor průmyslových rozvodů .....</b>	<b>- 2 -</b>
2.1	Základní druhy rozvodných sítí .....	- 2 -
2.2	Jmenovitá napětí používaná v průmyslových rozvodech.....	- 4 -
2.3	Požadavky na průmyslový rozvod .....	- 5 -
2.4	Dimenzování průmyslového rozvodu dle ČSN 34 1610.....	- 6 -
2.5	Elektrické stanice .....	- 6 -
2.5.1	Druhy elektrických stanic: .....	- 6 -
<b>3</b>	<b>Možnosti řešení rekonstrukce rozvodny .....</b>	<b>- 8 -</b>
3.1	Zásady modernizace.....	- 8 -
3.2	Druhy rozvoden .....	- 8 -
3.3	Kobkové rozvodny VN .....	- 9 -
3.4	Skříňové rozvodny VN .....	- 11 -
3.4.1	Typy rozvaděčových skříní .....	- 11 -
<b>4</b>	<b>Popis současného stavu rozvodny .....</b>	<b>- 13 -</b>
4.1	Napájení rozvodny .....	- 13 -
4.2	Složení kobkové rozvodny .....	- 13 -
<b>5</b>	<b>Návrh úprav sítě .....</b>	<b>- 15 -</b>
5.1	Obecné možnosti úprav sítě .....	- 15 -
5.2	Možnosti úpravy stávající sítě .....	- 16 -
5.3	Výpočet zkratových proudů dle ČSN EN 60909 – 0 .....	- 16 -
5.3.1	Základní pojmy .....	- 16 -
5.3.2	Předpoklady výpočtu zkratových proudů dle ČSN EN 60909-0.....	- 18 -
5.3.3	Metoda výpočtu zkratových proudů dle ČSN EN 60909-0.....	- 19 -
5.3.4	Výpočet vnitřních impedancí prvků elektrické sítě.....	- 19 -
5.3.5	Výpočet impedancí pro rozvodnu R2.....	- 21 -
5.3.6	Výpočet zkratových proudů na přípojnicích rozvodny R2.....	- 25 -
5.3.7	Shrnutí vypočtených hodnot.....	- 30 -
5.3.8	Minimální požadavky na použité přístroje .....	- 30 -
5.3.9	Zhodnocení výpočtů .....	- 32 -
<b>6</b>	<b>Návrh reaktorů v přívodu z TIV .....</b>	<b>- 34 -</b>
6.1	Návrh reaktoru .....	- 34 -
6.2	Výpočet zkratového proudu v místě zkratu C.....	- 36 -
6.3	Shrnutí.....	- 38 -
<b>7</b>	<b>Návrh prvků kobek rozvodny R2.....</b>	<b>- 39 -</b>
7.1	Kobka měření.....	- 40 -
7.2	Kobka přívodní .....	- 41 -
7.2.1	Kobka č. 2, č. 30 a č. 31; TIV – PŘÍVOD 1, 2 a 3.....	- 41 -
7.2.2	Kobka č. 3 a č. 4; EII – PŘÍVOD 1 a 2 .....	- 42 -
7.3	Kobka vývodová .....	- 43 -

DP	Návrh modernizace kobkové rozvodny 6 kV	Bc. Lukáš Pracný
7.3.1	Kobka č. 5 ILGNER III.....	- 43 -
7.3.2	Kobka č. 9, č. 12, č. 23 a č. 26; Transformátor 7,9 MVA; 6 300/y/y V.....	- 45 -
7.3.3	Kobka č. 14, č. 15, č. 18; vývody do rozvaděčů R3.1, R3.2 a R3.3.....	- 46 -
7.3.4	Kobka č. 16 – kompenzace K4.....	- 47 -
7.3.5	Kobka č. 17 – kompenzace K1.....	- 48 -
7.3.6	Rezervy .....	- 49 -
7.4	Kobka příčného spínače a podélná spojka .....	- 50 -
<b>8</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>- 51 -</b>

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 2.1-1 Schéma paprskového rozvodu .....	- 2 -
Obrázek 2.1-2 Schéma průběžného rozvodu.....	- 3 -
Obrázek 2.1-3 Schéma okružního rozvodu .....	- 3 -
Obrázek 2.1-4 Schéma hřebenového rozvodu.....	- 3 -
Obrázek 2.1-5 Schéma mřížového a dvoupaprskového rozvodu .....	- 4 -
Obrázek 2.5-1 Moderní kiosková trafostanice MRw-b společnosti Zpue Ttrade .....	- 7 -
Obrázek 2.5-2 Rozvodna VVN Chodov.....	- 7 -
Obrázek 3.3-1 Konstrukční části vakuového vypínače KUF firmy Dribo. ....	- 9 -
Obrázek 3.3-2 Vnitřní odpínače v kombinaci s VN pojistkami H22 a H27 společnosti Dribo.....	- 10 -
Obrázek 3.3-3 Vnitřní odpojovač typu ITr společnosti Dribo.....	- 10 -
Obrázek 3.3-4 PTP TPU 4 s izolačními přepážkami a PTN s pojistkami VN společnosti ABB .....	- 11 -
Obrázek 3.4-1 Složení skříňového rozvaděče VN SM6 s výkonovým vypínačem SF <sub>6</sub> .....	- 12 -
Obrázek 3.4-2 Ukázka schématu rozvodu VN s použitím rozvaděčů SM 6 .....	- 12 -
Obrázek 4.2-1 Jedna žíla kabelu 6-AYKCY .....	- 14 -
Obrázek 5.3-1 Průběh zkratového proudu elektricky vzdáleného zkratu s konstantní střídavou složkou .....	- 18 -
Obrázek 5.3-2 Průběh zkratového proudu elektricky blízkého zkratu s klesající střídavou složkou -	- 18 -
Obrázek 5.3-3 Schéma napájení rozvodny R2 z rozvodny TIV .....	- 21 -
Obrázek 5.3-4 Schéma napájení rozvodny R2 z rozvodny EII .....	- 22 -
Obrázek 5.3-5 Náhradní obvod pro napájení rozvodny R2 jedním přívodem z rozvodny TIV .....	- 25 -
Obrázek 5.3-6 Náhradní obvod pro napájení rozvodny R2 dvěma přívody z rozvodny TIV .....	- 26 -
Obrázek 5.3-7 Náhradní obvod pro napájení rozvodny R2 třemi přívody z rozvodny TIV .....	- 27 -
Obrázek 5.3-8 Náhradní obvod pro napájení rozvodny R2 dvěma přívody z rozvodny EII.....	- 29 -
Obrázek 6.1-1 Suchý omezovací 3 fázový reaktor pro vnitřní instalaci společnosti EST. ....	- 35 -
Obrázek 6.2-1 Náhradní obvod napájení rozvodny R2 z rozvodny TIV po zapojení reaktorů.....	- 36 -
Obrázek 7.3-1 Výkonový vypínač Evolis 17,5 kV s detailem střádacího ústrojí.....	- 43 -
Obrázek 7.3-2 Detail čelního panelu ochrany řady Sepam 40 .....	- 44 -
Obrázek 7.3-3 Vnitřní odpojovač QAK společnosti IVEP.....	- 47 -
Obrázek 7.3-4 Odporová bleskojistka MWK společnosti ABB.....	- 48 -
Obrázek 7.3-5 Digitální multimetr PM750 společnosti Schneider-electric .....	- 49 -



**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 2.2-1 Sítě se střídavým jmenovitým napětím mezi 100 V a 1000 V včetně a kmitočtu

50 Hz .....	- 4 -
Tabulka 2.2-2 Trojfázové sítě se střídavým jmenovitým napětím nad 1 kV a kmitočtu 50 Hz .....	- 4 -
Tabulka 2.2-3 Jmenovitá napětí elektrických střídavých zdrojů a spotřebičů na napětí do 1 kV .....	- 5 -
Tabulka 2.2-4 V průmyslu se pro rozvod elektrické energie nejčastěji používají tato napětí.....	- 5 -
Tabulka 4.2-1 Soupis stávajícího vybavení kobek výkonovými přístroji .....	- 14 -
Tabulka 5.3-1 Napěťový součinitel $c$ .....	- 19 -
Tabulka 5.3-2 Vypočtené hodnoty .....	- 24 -
Tabulka 5.3-3 Vypočtené hodnoty počátečního souměrného rázového zkratového proudu .....	- 30 -
Tabulka 5.3-4 Součinitel nárazového zkratového proudu $\kappa$ .....	- 31 -
Tabulka 5.3-5 Jmenovité hodnoty zkratových proudů přístrojů v rozvodně R2 .....	- 32 -
Tabulka 6.1-1 Parametry vzduchových reaktorů [19] .....	- 34 -
Tabulka 6.3-1 Jmenovité hodnoty zkratových proudů přístrojů po vřazení reaktorů do přívoů .....	- 38 -

## LITERATURA

- [1] HRADÍLEK, Zdeněk. *Elektroenergetika distribučních a průmyslových sítí*. 1. vydání Ostrava 2008, ISBN 978-80-248-1696-8
- [2] PAUZA, Josef. *Silnoprůdová zařízení v průmyslu*. 1. vydání Praha 1974, SNTL
- [3] SANTARIUS, Pavel. *Elektrické stanice a vedení*. 2. vydání Ostrava 2002, ISBN 80-248-0175-2
- [4] ČSN 33 0120. *Elektrotechnické předpisy – Normalizovaná napětí IEC*, Praha 2001, ČNI
- [5] ČSN 34 1610. *Elektrotechnické předpisy ČSN – Elektrický silnoprůdový rozvod v průmyslových provozovnách*. Praha 1963, UNMZ
- [6] soubor ČSN EN 60909. *Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách*. Praha, ČNI
- [7] ŠTĚPÁN, František. *Elektroenergetika I*. poslední revize 13.5.2007, <http://ok2vfs.wz.cz/energ.html>,
- [8] *Vnitřní odpojovače, vnitřní uzemňovače pro napětí 1,2 – 72 kV*. Brno: Ivep, a.s., 2010, 20 s
- [9] *Vnitřní odpojovače ITr*. Brno: Dribo, spol. s.r.o., 2009, 6 s
- [10] *Doporučené kombinace pojistkových odpínačů a VN pojistek*. Brno: Dribo, spol. s.r.o., 2006, 2 s
- [11] *Vakuové vypínače pro vnitřní použití*. Brno: Dribo, spol. s.r.o., 2008, 8 s
- [12] *Evolis circuit breakers 17,5*. Rueil – Malmasion: Schneider Electric industries SAS, 2008, 92 s
- [13] *Sepam 40*. Praha: Schneider Electric CZ, s.r.o., 2005, 2 s
- [14] *Systém PowerLogic*. Praha: Schneider Electric CZ, s.r.o., 2007, 86 s
- [15] *SM6*. Praha: Schneider Electric CZ, s.r.o., 2007, 74 s
- [16] *TPU 4x.xx*. Brno: ABB s.r.o., 2007, 12 s
- [17] *TJP 4.x*. Brno: ABB s.r.o., 2004, 4 s
- [18] *Data sheet MWK*. ABB Switzerland Ltd., 2006, 2 s
- [19] *ETD Catalogue CZ*. Plzeň: ETD Transformátory a.s., 15 s
- [20] *Kabely a vodiče pro energetiku*. Vrchlabí: nkt cables Vrchlabí k.s., člen skupiny NKT, 2005, 192 s

## PŘÍLOHY

- 1.1 Silové schéma rozvodny R2 – kobky č.1 – č.8
- 1.2 Silové schéma rozvodny R2 – kobky č.9 – č.16
- 1.3 Silové schéma rozvodny R2 – podélná spojka
- 1.4 Silové schéma rozvodny R2 – kobky č.17 – č.24
- 1.5 Silové schéma rozvodny R2 – kobky č.25 – č.32



# 1 Úvod

Rozšiřování pokrytí území elektrickou energií zprvu souvisí s rozvojem průmyslu. Elektrárny se stavěly v blízkosti spotřeby, tedy u velkých průmyslových objektů nebo v blízkosti primárních zdrojů energie. S rozvojem strojního zařízení používaného v průmyslu rostly zároveň čím dál tím větší požadavky na rozvod elektrické energie. Jednotlivé podniky začaly mít svoje vlastní trafostanice vn/nn a s přibývajícím časem i rozvodny vn/vn s následnými podružnými trafostanicemi. Většina těchto rozvodů pochází z 60. až 80. let minulého století a v současnosti, pokud již neprošly rekonstrukcí, často nepostačují současným požadavkům. Takovým případem je i rozvodna R2 nacházející se v hutním závodě.

Pro pochopení celé problematiky je potřeba se seznámit nejen s rozvodnami ale zároveň s principem celých rozvodů v průmyslu. Po získání základních znalostí o struktuře elektrických rozvodů v průmyslu se můžeme zaměřit zpátky na rozvodny vn. Tím se zabývají první kapitoly diplomové práce. Tyto poznatky jsou potřebné k pochopení další části zabývající se výpočtem zkratových proudů.

Když už známe teoretickou stránku, je potřeba se podívat přímo na rozvodnu R2. Tímto se zabývá další část diplomové práce. Je třeba se seznámit s topologií dané sítě, tj. způsobu napájení a provedení vývodů, dále si musíme uvědomit vnitřní uspořádání rozvodny. Po těchto zjištěních se můžeme pustit do úvah o způsobu modernizace.

Základním hlediskem pro dimenzování elektrických zařízení je jejich zkratová odolnost. Na různé elektrické zařízení máme s ohledem na zkrat různé požadavky. Některé musejí tyto zkraty pouze přenést, zatímco jiné je musejí umět vypnout. Pro výpočet zkratových poměrů v síti využíváme normu ČSN EN 60909-0 a s ní související, které hovoří o základních pojmech a postupech řešení. Po přečtení poznatků z normy ČSN EN 60909-0 můžeme začít samotný výpočet zkratových proudů.

Výpočet se provádí v závislosti na způsobu napájení rozvodny. Podle vypočtených zkratových proudů můžeme upřesnit návrh modernizace.

Poslední část diplomové práce se zabývá už konkrétním řešením modernizace rozvodny. Je zde uveden postup návrhů jednotlivých přístrojů v kobkách. Dále už následuje zhodnocení celé diplomové práce a shrnutí zjištěných údajů.

## 2 Teoretický rozbor průmyslových rozvodů

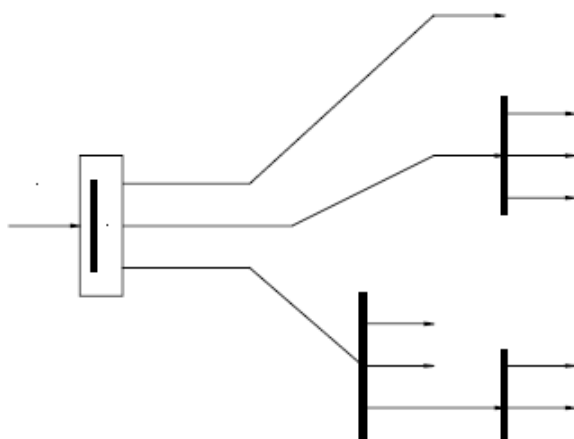
Největším odběratelem elektrické energie jsou průmyslové závody, proto je třeba při návrzích rozvodného systému dbát na bezpečnost a hospodárnost těchto rozvodů s ohledem na jejich význam.

Řešení průmyslových rozvodů musí být provozně spolehlivé a ekonomicky výhodné a to jak provozně tak i investičně. Je potřeba vycházet z velikosti průmyslového závodu a jeho druhu. Důležitým faktorem je i volba počtu a výše napěťových hladin použitých pro rozvod v průmyslovém závodě a stupeň důležitosti dodávky elektrické energie.

Průmyslové závody jsou napájeny z distribuční sítě. Velké průmyslové závody s příkonem nad 10 MVA bývají napájené ze sítě VVN 110 kV a mívají vstupní transformovnu (110/110 kV; 110/22 kV) a hlavní rozvodny (110/22 kV; 110/22/6 kV a 22/6 kV; 6 kv/nn). Středně velké průmyslové závody s příkonem 2 – 10 MVA bývají napájeny ze sítě VN 22 kV a mívají vstupní transformovnu a hlavní rozvodnu sloučenou (22/6 kV a 6 kV/nn). Mále průmyslové závody a podnikatelé s příkonem 2 x 1 MVA bývají napájené se sítě VN 22 kV a mají pouze jednu transformovnu 22 kV/nn. Menší podniky mohou být napájeny přímo z distribuční soustavy 0,4 kV. [1]

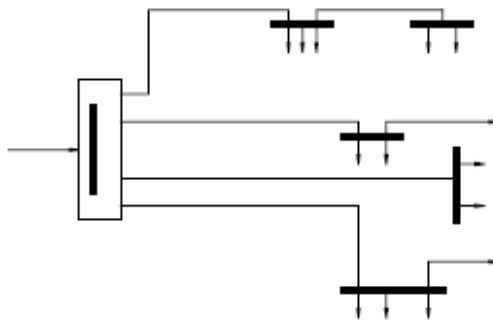
### 2.1 Základní druhy rozvodných sítí

- Paprskový rozvod – z jednoho napájecího bodu vybíhají napájecí vedení jednotlivých spotřebičů. Je zřejmé, že při výpadku napájení nebo přerušení vedení po trase paprsku (i vlivem přetavení pojistky nebo vypnutí jističe), přestává být spotřebič zásoben energií. Rozvod je tedy vhodný pro jednoduché případy 3. stupně dodávky. [7]



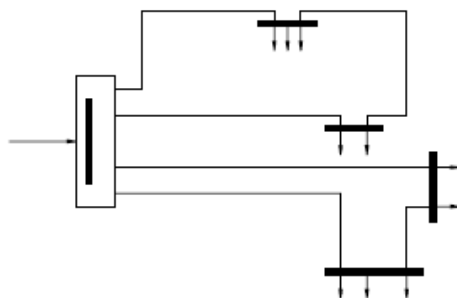
Obrázek 2.1-1 Schéma paprskového rozvodu

- Průběžný rozvod – je to jenom varianta rozvodu paprskového. [7]



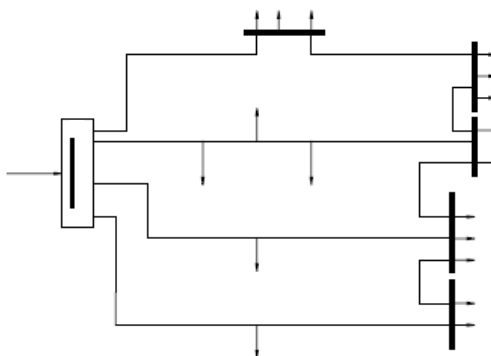
Obrázek 2.1-2 Schéma průběžného rozvodu

- Okružní rozvod – zvýšení spolehlivosti dodávky dosáhneme propojením konců jednotlivých paprsků – vznikne tak vedení napájené ze dvou stran, které lze (v případě přerušení nebo výpadku napájení jedné strany) s určitým omezením odběru provozovat dále. Je tedy vhodný pro případy druhého stupně. [7]



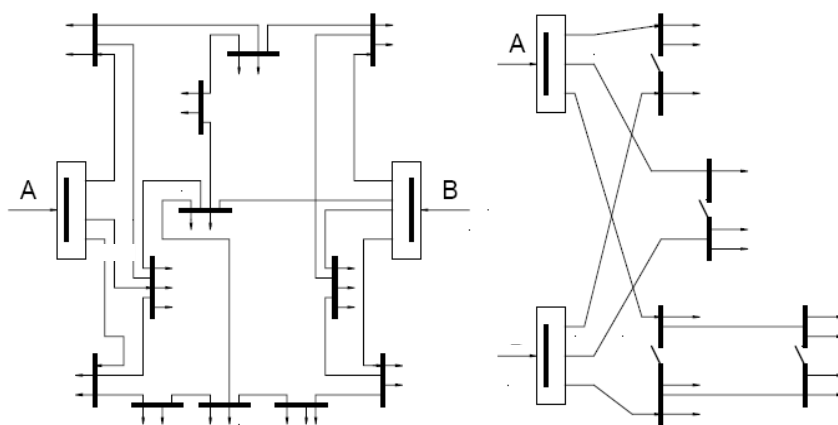
Obrázek 2.1-3 Schéma okružního rozvodu

- Hřebenový – opět jde o variantu rozvodu okružního. [7]



Obrázek 2.1-4 Schéma hřebenového rozvodu

- Mřížový a dvoupaprskový rozvod - jejich zapojení je složité, ale zaručenost dodávky je vysoká. Pokud budou napájecí body A, B zásobovány ze dvou nezávislých rozvodů 110 kV vyhoví zcela jistě požadavku 1. stupně dodávky. V případě mřížového rozvodu jsou problémy se selektivitou jištění v případě poruchy. [7]



Obrázek 2.1-5 Schéma mřížového a dvoupaprskového rozvodu

## 2.2 Jmenovitá napětí používaná v průmyslových rozvodech

Velmi podstatnou úlohu má v ekonomii průmyslového rozvodu velikost použitých napětí. Elektrická energie se v průmyslových závodech rozvádí do elektrických stanic v jednotlivých rozvodech nebo provozovnách napájecím rozvodem s napětím napájecí distribuční sítě nebo s napětím nižším.

Kolik napěťových soustav se v průmyslovém závodě použije, závisí především na těchto požadavcích:

- napětí spotřebičů
- parametry vlastní elektrárny
- rozloha podniku
- velikost odběru
- přenášené výkony

Přechod z jedné napěťové hladiny na druhou se provádí v transformovnách. Tyto transformovny musí být dimenzovány na daný přenášený výkon a mají určitou výbavu, což při použití velkého počtu napěťových hladin přináší také velké finanční nároky a to jak investiční, tak i provozní.

**Tabulka 2.2-1 Sítě se střídavým jmenovitým napětím mezi 100 V a 1000 V včetně a kmitočtu 50 Hz [4]**

Trojfázové čtyřvodičové nebo trojvodičové sítě			
Jmenovité napětí sítě	230/400 V	400/690 V	1000 V

**Tabulka 2.2-2 Trojfázové sítě se střídavým jmenovitým napětím nad 1 kV a kmitočtu 50 Hz [4]**

Jmenovité napětí sítě [kV]	3	6	10	22	35	110	220	400
	3,6	7,2	12	25	38,5	123	245	420

Tabulka 2.2-3 Jmenovitá napětí elektrických střídavých zdrojů a spotřebičů na napětí do 1 kV [4]

Napětí zdroje [V]	Napětí spotřebiče [V]
6	6
12	12
24	24
48	48
65	60
125	100
242	230
420	400
525	500
725	690
1050	1000

Tabulka 2.2-4 V průmyslu se pro rozvod elektrické energie nejčastěji používají tato napětí

VN [kV]	6		10		22	
NN [V]	230	230/400	500	400/690	1000	

## 2.3 Požadavky na průmyslový rozvod

Hlavním požadavkem na průmyslový rozvod je, aby bezpečně a spolehlivě elektrickou energii z distribuční sítě (z přípojky) nebo ze zdroje (vlastní elektrárna) na místo spotřeby. Přenášená elektrická energie musí mít dostatečný výkon a potřebnou kvalitu (napětí, kmitočet, ...) pro dané spotřebiče. [2]

Základní požadavky:

- bezpečnost osob a vlastního zařízení
- odolnost proti prostředí
- automatické odepnutí vadných částí
- vyloučení rušivých vlivů na vlastní i okolní zařízení
- možnost rozšíření
- přizpůsobivost při změnách dispozic
- přehlednost
- vzhled
- využití opakovatelných prvků
- investiční náklady
- ztráty a ostatní provozní náklady
- možnost rychlého odstranění poruch
- provozní spolehlivost



Z větší části průmyslové rozvody slouží k napájení motorických spotřebičů, tyto spotřebiče se vyznačují značnou spotřebou jalového výkonu. Tím dochází ke značnému zatěžování přírodních vedení jalovým proudem, což vede k naddimenzování vedení, vypínačů a dalších zařízení. Špatný účinník rovněž ovlivňuje ztráty v rozvodech, úbytky napětí a činnost vypínačů. Z těchto důvodů je nutné v průmyslovém rozvodu použít kompenzaci jalového výkonu.

Konfigurace a dimenzování průmyslových rozvodů se musí navrhnout i s ohledem na úbytek napětí. Není přípustné, aby během provozu kleslo napětí na svorkách spotřebiče pod dovolenou mez. Toto bývá především problémem v rozvodech NN, kde zařízení s těžkým rozběhem způsobují značné poklesy napětí v síti, což neprospívá světelným zdrojům. Rovněž problém může nastat, když při poklesu napětí budeme chtít rozběhnout motor se zátěží, ale vzhledem k poklesu napětí poklesne i záběrný moment motoru tak, že se zátěž nerozběhne. Proto je vhodné oddělovat světelné a motorické rozvaděče, popřípadě napájet dvě části rozvaděče samostatně. [2]

## **2.4 Dimenzování průmyslového rozvodu dle ČSN 34 1610**

Vodiče elektrického rozvodu se musí dimenzovat takto [5]:

- a) výpočtové zatížení nesmí být vyšší než trvalé proudové zatížení vodičů s ohledem na dovolenou provozní teplotu a druhu jištění
- b) průřezy vodičů musí být hospodárné
- c) vodiče musí být mechanicky pevné
- d) úbytek napětí musí vyhovovat příslušným normám
- e) vodiče musí odolávat tepelným a dynamickým účinkům zkratových proudů

## **2.5 Elektrické stanice**

Jsou definována jako ucelená zařízení v uzlu elektrizační soustavy. Rozloha elektrických stanic je dána začleněním do elektrizační soustavy, počtem přípojníc, velikostí blokových transformátorů, typem stanice, provedením stanice, atd. [3]

### **2.5.1 Druhy elektrických stanic:**

- a) podle účelu
  - transformovny – transformace napětí
  - spínací stanice – rozvádění elektřiny téhož napětí
  - měnirny – přeměna střídavého elektrického proudu na proud o jiné frekvenci nebo na proud stejnosměrný
- b) podle způsobu obsluhy
  - s trvalou obsluhou
  - bez obsluhy s pravidelným dozorem
  - bez obsluhy s dálkovým ovládáním

c) podle provedení

- venkovní
- halové
- zapouzdřené



Obrázek 2.5-1 Moderní kiosková trafostanice MRW-b společnosti Zpue Trade



Obrázek 2.5-2 Rozvodna VVN Chodov

## 3 Možnosti řešení rekonstrukce rozvodny

### 3.1 Zásady modernizace

Při modernizaci nahrazujeme zastaralá a málo bezpečná zařízení a na základě nových požadavků rozšiřujeme zařízení elektrického rozvodu. Při návrhu projekt provádíme, jako by se jednalo o novou stavbu. Nejvyšších úspor získáme, pokud umístíme transformátor do míst s největší spotřebou a dále pokud zvýšíme hladinu napětí, tím dojde ke snížení ztrát. [1]

Hlavní požadavky kladené na moderní zařízení rozvodu VN

- zvýšení provozní spolehlivosti
- prodloužení doby bezrevizního chodu
- automatizované nebo programové řízení
- účelná miniaturizace rozměrů

### 3.2 Druhy rozvoden

Podle rozmístění se dělí rozvodny na vnitřní a venkovní. Venkovní rozvodny se staví buď jako rozvodny nebo jako skříňové rozvaděče. U nás se pro plošnou náročnost venkovní VN rozvodny neprovádějí. Častěji než venkovní VN rozvodny se v síti nacházejí venkovní trafostanice, což je jeden sloup nebo více sloupů osazeno transformátorem, odpojovačem, svodičem přepětí a VN/NN rozvaděčem.

Vnitřní kobkové rozvodny VN se dříve stavěly jako samostatné objekty, neboť jejich umístění v provozu bylo nemožné. Přestože měly řadu výhod (přehlednost, snadný přístup, možnost napojení na venkovní a kabelové vedení, ...) objevila se u nich i řada nevýhod (značný obestavěný prostor, možnost chybné manipulace – vznik oblouku, špatná ochrana obsluhy, ...)

S rostoucí spotřebou elektrické energie v průmyslu se zvyšoval počet VN odboček a rovněž rostl přenášený výkon, bylo potřeba přenést rozvodny blíže k místu spotřeby to je do provozů. Dalším důvodem bylo používání motorů napájených přímo VN. Z těchto důvodů se začalo pracovat na nových řešeních rozvoden, až se zavedli skříňové rozvodny VN.

Skříňové rozvodny oproti kobkovým dosahují mnohem menších rozměrů, kdy na místo jedné kobky je možno postavit i 3-4 skříňové rozvaděče. Další nespornou výhodou je stupeň krytí IP, které skříňové rozvaděče mohou mít. Zatímco u kobek bylo nemyslitelné, aby byly umístěné v provozu a chodili kolem nich pracovníci neznalí, u skříňových rozvaděčů je toto umožněno. Oproti kobkám, které byly ve většině případů provozovány se dvěma systémy přípojníc, skříňové rozvaděče používají pouze jeden systém přípojníc, výjimečně dva, ale v tomto případě se vyskytují problémy s konstrukcí rozvaděčů.

Ze začátků se používala kombinace vypínače s odpojovačem, které byly zbytečně veliké a již neplnily svou funkci viditelného odpojení. Proto byly následně nahrazeny výsuvnými vypínači, kdy vyjetí vypínače nahrazovalo funkci odpojovače. V současné době s vývojem plynu SF<sub>6</sub> se opět začíná používat kombinace vypínače a odpojovače.

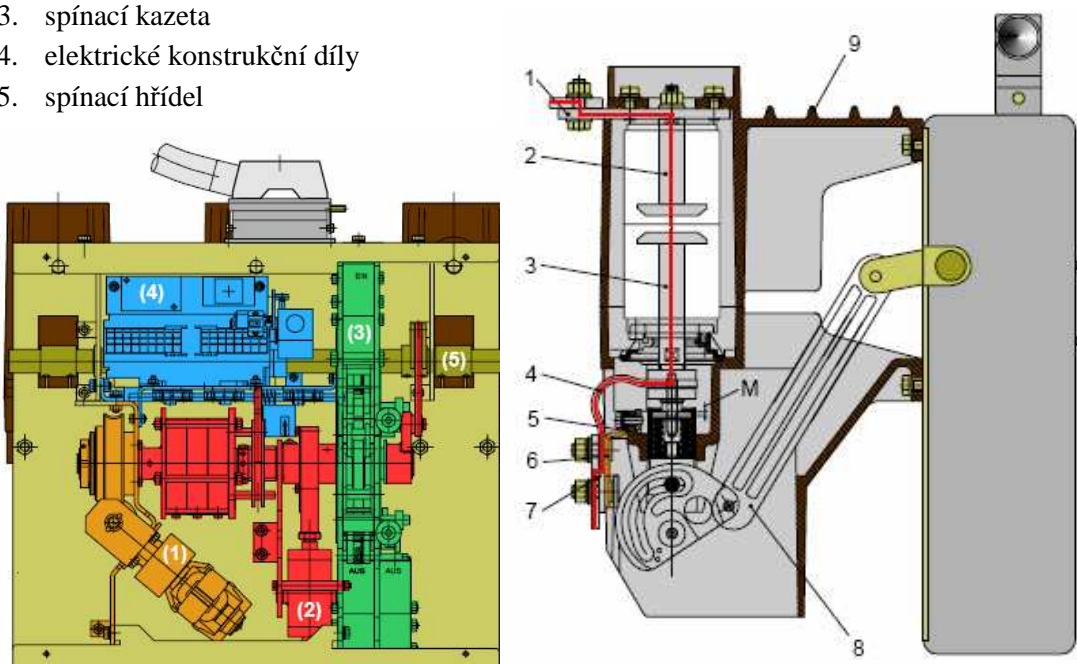
Následně s rozšířením plynu  $\text{SF}_6$  jako izolantu vznikly rozvodny, které jsou celé zapouzdřené, včetně přípojníc. Tím došlo ještě k většímu zmenšení rozvodu. [2]

### 3.3 Kobkové rozvodny VN

V kobkových rozvodnách se používají přístroje pro čelní montáž. Pro vedení proudu jsou použity přípojnice. Ve většině případů se používá jednoduchý nebo dvojitý systém. Přístroje mohou být provedeny jako 1pólové nebo 3- pólové, s ručním nebo mechanickým střadačem. [2]

Vypínače se používají převážně vakuové, které jsou složeny z:

1. mechanika pohonu Vakuové spínací komory:
2. pružinový střadačí mechanismus
3. spínací kazeta
4. elektrické konstrukční díly
5. spínací hřídel



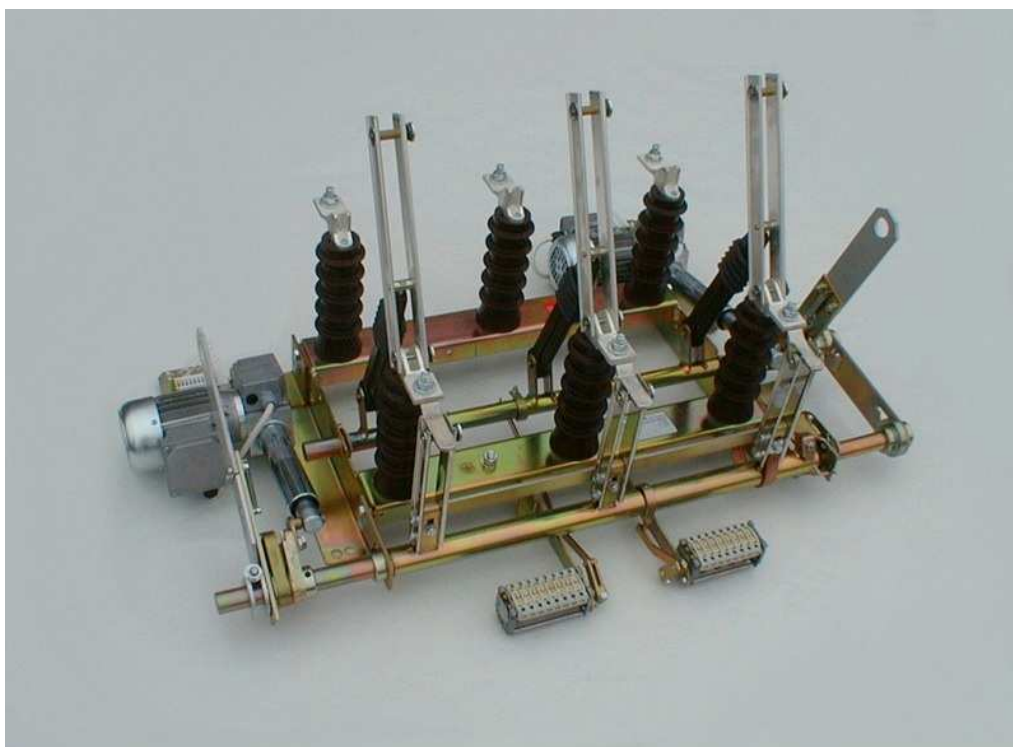
Obrázek 3.3-1 Konstrukční části vakuového vypínače KUF firmy Dribo.

Odpínače pro vnitřní použití se vyrábějí s výklopným pohybem kontaktů, s výsuvným pohybem kontaktů anebo s pojistkami. Odpínače slouží pro spínání VN zařízení při normálních provozních podmínkách. Odpínače v kombinaci s VN pojistkami umožňují nahradit, relativně levně, výkonový vypínač. Odpínače jsou schopné vypínat proudy až do své jmenovité hodnoty a VN pojistky přeruší obvod při poruše a zároveň vypnout odpínač. Tohoto spojení se především využívá při ochraně transformátorů [10]



**Obrázek 3.3-2 Vnitřní odpínače v kombinaci s VN pojistkami H22 a H27 společnosti Dribo.**

Odpojovače slouží ke spínání VN zařízení bez zatížení. Jejich hlavním úkolem je viditelné rozpojení obvodu. Používají se ještě v kombinaci s uzemňovači. Bývají umísťovány do obvodu s výkonovým vypínačem, řadí se zároveň před vypínač i za vypínač [9].



Vnitřní odpojovač 13300 s lineárními motorovými pohony LM50

(c) Dribo, spol s r.o.

**Obrázek 3.3-3 Vnitřní odpojovač typu ITr společnosti Dribo.**



Další součástí kobek bývají přístrojové transformátory proudu ( PTP ) a přístrojové transformátory napětí ( PTN ). Tato zařízení slouží pro měření proudu a napětí. Jejich převod bývá pro PTP  $x/5A$  a pro PTN  $y/\sqrt{3} / 100/\sqrt{3}$  , kde  $x$  je jmenovitý proud pole a  $y$  je sdružené jmenovité napětí pole. Provedení bývá dvouvinuťové nebo trojvinuťové, záleží pro co všechno je převedený signál potřebný [16,17].

Nejčastěji se měření využívá pro:

- ochrany
- spotřebu závodu
- spotřebu rozvoden, vývodů,....
- kompenzaci
- informace o poli



Obrázek 3.3-4 PTP TPU 4 s izolačními přepážkami a PTN s pojistkami VN společnosti ABB

Svodiče přepětí slouží k omezení převážně atmosférického přepětí na hodnotu, která nepoškodí dané zařízení.

### 3.4 Skříňové rozvodny VN

První řešení skříňových rozvoden VN se podobalo kobkám, včetně stejného vybavení. Až postupem času vznikly nyníjší plechové skříňové rozvaděče VN. Jednotlivé skříně jsou od sebe odděleny plechem a to proto, aby při vzniku zkratu se tento omezil pouze na danou skříň a nerozšířil se dál. Hlavní nevýhodou je použití jednoduchého systému přípojníc. [2]

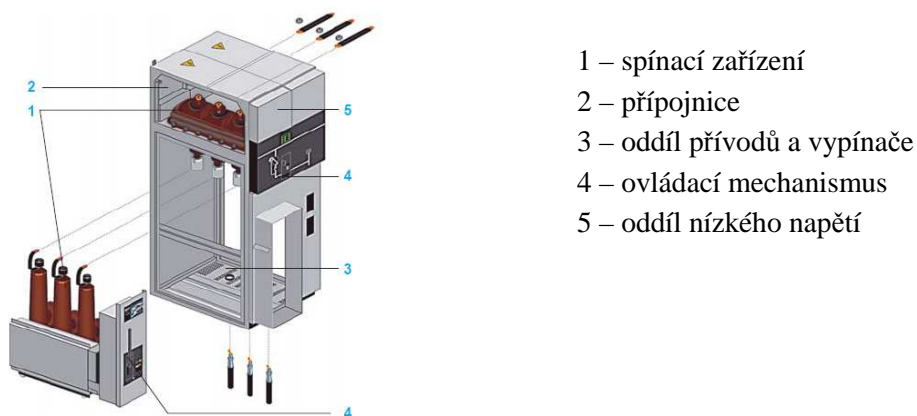
#### 3.4.1 Typy rozvaděčových skříní

Typy rozvaděčových skříní si ukážeme na modulárních skříních řady SM6 fy Schneider-electric. Jedná se o skříně s kovovými zapouzdřenými spínacími přístroji. Jako izolant u těchto přístrojů je použit buď plyn  $SF_6$  nebo vakuum. Přístroje jsou provedeny buď jako pevné nebo výsuvné.

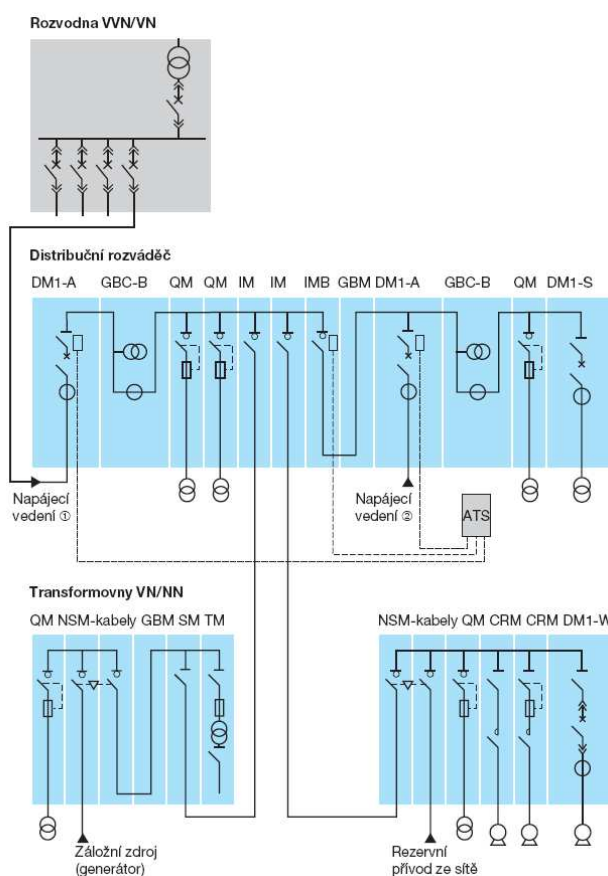
V těchto rozvaděčích se používají následující přístroje:

- odpínače
- vakuové vypínače
- vypínače  $SF_6$
- stykače

Skříně se vyrábějí pro napětí 7,2 - 17,5 - 12 - 24kV s jmenovitým proudem 400 – 630 -1250A. Maximální krátkodobý výdržný proud je v rozmezí 12,5 – 16 – 20 – 25kA/s. Skříně jsou vyráběny v rozměrech od 375 – 750 mm šířky, 840 mm hloubky a 1600 mm výšky. Jak je patrné, rozměry jednotlivých skříní jsou oproti kobkům znatelně menší, což umožňuje vytvoření rozvodny VN na mnohem menším prostoru oproti kobkovým rozvodnám [15].



Obrázek 3.4-1 Složení skříňového rozvaděče VN SM6 s výkonovým vypínačem SF<sub>6</sub>



Obrázek 3.4-2 Ukázka schématu rozveden VN s použitím rozvaděčů SM 6

## 4 Popis současného stavu rozvodny

Stávající rozvodna R2 se nachází v třípodlažní zděné budově. Jedná se o rozvodnu 6 kV určenou k napájení válcovacích lavic. Hlavní technologie se nachází v nejvyšším patře a je tvořena dvaatřiceti kobkami s dvojitým systémem přípojníc. O poschodí níž se nachází podružná část rozvodny tvořena skříňovými rozvaděči R3.1, R3.2 a R3.3. Z těchto rozvaděčů jsou napájeny transformátory a osvětlení. Ve spodní části budovy se nachází samotný velín.

### 4.1 Napájení rozvodny

Rozvodna je napájena ze dvou nadřazených trafostanic a to TIV a EII. Z trafostanice TIV je rozvodna R2 napájena třemi přívody a to z kobky č. 9 do kobky č. 2 – TIV PŘÍVOD 1, dále z kobky č. 12 do kobky č. 30 – TIV-R2 PŘÍVOD 2 a nakonec z kobky č. 5 do kobky č. 31 – TIV-R2 PŘÍVOD 3. Jednotlivé přívody jsou provedeny paralelními kabely 7x6-AYKCY 3x240 o délce 800m.

Z rozvodny EII jsou dva napájecí kabely zaústěny přímo do kobkové rozvodny R2 a jeden přívod je zaústěn do podružného skříňového rozvaděče R3.3. Z rozvodny EII je první přívod z kobky č. 42 a vede do kobky č. 3 – E2-HR PŘÍVOD 1, druhý přívod je z kobky č. 44 do kobky č. 4 – E2-HR PŘÍVOD 2. Na každém z těchto dvou přívodů je v rozvodně EII instalován reaktor 1000A, uk=5%. Jednotlivé přívody jsou tvořeny kabely 4x6-AYKCY 3x240 o délkách 280m.

### 4.2 Složení kobkové rozvodny

Jak již bylo zmíněno, rozvodna má dva systémy přípojníc. V současnosti se používá pro přívody a vývody přípojnice W1 a pro kompenzaci přípojnice W2. Dispozičně je rozvodna řešena ve dvou řadách naproti sobě, kdy první řadu tvoří kobky 1-16 a druhou řadu tvoří kobky 17-32. Dle tohoto uspořádání jsou vnitřní přípojnice W1 a vnější přípojnice W2. Mezi kobkou č. 16 a kobkou č. 17 se nachází podélná spojka.

Z celkového počtu 32 kobek je v této době využívána pouze minimální část a to dvě kobky měření, dvě kobky příčného spínače, pět kobek přívodních a šest kobek vývodních, z čehož dvě kobky jsou pro kompenzaci. Zbylé kobky slouží jako rezervy.

Kobka měření slouží pro získávání informací pro podpětovou a zemní ochranu. Celkem obsahuje 6 podpětových ochranných a dvě zemní ochrany. Dále je součástí kobky odpojovač pro přípojnici W1 a pojistkový odpínač pro PTN a také odpojovač pro přípojnici W2 a pojistkový odpínač pro PTN.

Přívodní kobka obsahuje spodní odpojovač, výkonový vypínač a dva horní odpojovače. Mezi dolním a horním odpojovačem jsou PTP a PTN pro nadproudovou a srovnávací ochranu.

Vývodové pole obsahuje výkonový vypínač, dva horní odpojovače pro přípojnice W1 a W2, omezovače přepětí, PTP, PTN a ochrany.

Příčný spínač obsahuje výkonový vypínač, dva horní odpojovače, PTP a ochrany.

Veškeré přístroje v rozvodně R2 jsou v současnosti dimenzovány na jmenovitý krátkodobý zkratový proud 45 kA. V následující tabulce je přehled vybavení kobek stávajícími výkonovými prvky.



Tabulka 4.2-1 Soupis stávajícího vybavení kobek výkonovými přístroji

Kobka	Název kobky	Výkon nap. zařízení	$I_n$ [A] vypínače	$I_n$ [A] odpojovače	$I_{SC}$ [kA]	$I_{DYN}$ [kA]
Kobka č. 1	Měření			2000	45	120
Kobka č. 2	Přívod 1 – TIV		2500	2000	45	120
Kobka č. 3	Přívod 1 – EII		1250	2000	45	120
Kobka č. 4	Přívod 2 – EII		1250	2000	45	120
Kobka č. 5	ILGNER III	3,2 MW	1250	2000	45	120
Kobka č. 6	Rezerva		1250	2000	45	120
Kobka č. 7	Rezerva		1250	2000	45	120
Kobka č. 8	Rezerva		1250	2000	45	120
Kobka č. 9	Transformátor 01 – TM1	7,9 MVA	1250	2000	45	120
Kobka č. 10	Rezerva		1250	2000	45	120
Kobka č. 11	Příčný spínač		12500	2000	45	120
Kobka č. 12	Transformátor TU 1.1	7,9 MVA	1250	2000	45	120
Kobka č. 13	Rezerva		1250	2000	45	120
Kobka č. 14	Rozvaděč R3.1-6		1250	2000	45	120
Kobka č. 15	Rozvaděč R3.3		1250	2000	45	120
Kobka č. 16	Kompenzace K4	8,28 MVA <sub>r</sub>	2500	2000	45	120
Kobka č. 17	Kompenzace K1	7,9 MVA <sub>r</sub>	2500	2000	45	120
Kobka č. 18	Rozvaděč R3.2-22		1250	2000	45	120
Kobka č. 19	Rezerva		1250	2000	45	120
Kobka č. 20	Rezerva		2500	2000	45	120
Kobka č. 21	Rezerva		2500	2000	45	120
Kobka č. 22	Příčný spínač		2500	2000	45	120
Kobka č. 23	Transformátor 601	7,9 MVA	2500	2000	45	120
Kobka č. 24	Rezerva		2500	2000	45	120
Kobka č. 25	Rezerva		2500	2000	45	120
Kobka č. 26	Transformátor 02 – TM1	7,9 MVA	2500	2000	45	120
Kobka č. 27	Rezerva		2500	2000	45	120
Kobka č. 28	Rezerva		2500	2000	45	120
Kobka č. 29	Rezerva		2500	2000	45	120
Kobka č. 30	Přívod 2 – TIV		2500	2000	45	120
Kobka č. 31	Přívod 3 – TIV		2500	2000	45	120
Kobka č. 32	měření			2000	45	120



Obrázek 4.2-1 Jedna žíla kabelu 6-AVKCY

## 5 Návrh úprav sítě

### 5.1 Obecné možnosti úprav sítě

Úpravy sítě můžeme provádět několika způsoby:

- změnou napěťové hladiny rozvodu
- změnou umístění trafostanic a rozvodem
- kompenzací
- omezováním zkratových proudů
- topologii sítě

Při návrhu úprav sítě musíme k návrhu přistupovat, jako by se jednalo o novostavbu. Musí se rovněž zohlednit, zda se jedná čistě o rekonstrukci stávající sítě nebo zda se zároveň jedná i o rozšíření.

Změna napěťové hladiny je z těchto variant rozhodně ta nejdražší, pokud budeme uvažovat přechod na vyšší hladinu. Bude nutné vyměnit transformátory, rozvodny a veškeré kabelové rozvody. Úspory nám toto řešení přinese snížením ztrát v rozvodech.

Při rozšiřování závodu nebo jen výroby (nové stroje, ....) dochází ke zvyšování potřebného výkonu pro danou lokalitu. Proto bývá výhodné rozvodnu napájející tuto část závodu posunout co nejbližší. Docílíme tím snížení ztrát na napájecích kabelech.

V průmyslu používaná zařízení jsou převážně indukčního charakteru, což má dva základní špatné vlivy a to zhoršení účinnosti a zatěžování přírodních vedení jalovým proudem. Při špatném účinnosti jsou průmyslové podniky postihovány sankcemi od distributorů elektrické energie. Jalový proud zase zvyšuje ztráty na vedení a zvyšuje úbytky na vedení, což znamená nutnost zvyšování průřezů přírodních vedení. Proto je nutné, aby každý závod měl kompenzaci. Kompenzaci můžeme provádět buď v hlavní trafostanici pro celý závod, v rozvodně pro určitou část závodu nebo individuálně pro jednotlivá zařízení. Nejlepší variantou je použít kombinaci těchto tří možností. Dosáhneme tak rovnováhy mezi potřebnou kompenzací a cenou. V současnosti se ke kompenzaci používají výhradně kondenzátorové baterie se stupňovitým řízením. Velké závody používají plynulé řízení.

Při dimenzování sítí a rozvoden se vychází také z výpočtů zkratových proudů. Každé zařízení v dané síti (kabely, odpojovače, vypínače, rozvaděče, ...) musí být schopny odolat hodnotě zkratového proudu vypočtené pro danou část sítě. Toto hledisko nemá velký vliv na provozní náklady, ale hlavně na investičních nákladech. Při vysokých zkratových proudech se musí daná zařízení zbytečně naddimenzovat oproti ostatním hlediskům dimenzování a tím dochází k navyšování ceny zařízení. Proto je v takových případech žádoucí zařadit do obvodu tlumivku, která zkratové proudy omezí a umožní tím dimenzovat zařízení na nižší zkratový proud a tím snížit jejich cenu.

Změna topologie sítě je vlastně přechod z jednoho stupně důležitosti dodávky do druhého. Většina průmyslových rozvodu je provozována paprskovitě s tím, že rozvodny jsou navzájem propojeny okružním vedením. Toto propojení se provádí z důvodu možnosti zásahu jedné rozvodny za druhou při poruše. Tento způsob úpravy sítě se v praxi využívá nejméně. [1]

## 5.2 Možnosti úpravy stávající sítě

Současné uspořádání rozvodny neumožňuje změnu hladiny napětí napájecí soustavy 6 kV na hladinu vyšší. Tato změna by byla po ekonomické stránce velice neefektivní a investiční náklady by byly vyšší než ušetřené provozní náklady. Rovněž se zde nedá uplatnit změna místa trafostanice a topologie sítě.

Naproti tomu je vhodné se zaměřit na zkratové proudy v rozvodně a na kompenzaci. Po přepočtech sítě dle těchto hledisek, by mohlo dojít ke změně a to omezení zkratových proudů v rozvodně a ke zlepšení účinníku rozvodny.

## 5.3 Výpočet zkratových proudů dle ČSN EN 60909 – 0

Jedná se o převzatou evropskou normu EN 60909-0:2001, má status české technické normy. V ČR byla vydána v květnu roku 2002 a platila souběžně s normami ČSN 33 3020 a ČSN 33 3022 do konce června roku 2004. Od 1. července roku 2004 byly normy ČSN 33 3020 a ČSN 33 3022 zrušeny a dále už platí pouze norma ČSN EN 60909-0.

### 5.3.1 Základní pojmy

V kapitole 1.3 Definice jsou definovány pojmy pro účely této normy. Z definic uvedených v této normě uvádím pouze definice související s problematikou diplomové práce.

**Zkrat:** náhodné nebo úmyslné vodivé spojení mezi dvěma nebo více vodivými částmi vedoucí k tomu, že rozdíl elektrických potenciálů mezi těmito vodivými částmi je roven nule nebo má hodnotu blízkou nule.

**Mezifázový zkrat:** náhodné nebo úmyslné vodivé spojení mezi dvěma nebo více vodiči se spojením na zem nebo bez něj.

**Zkrat mezi fází a zemí:** náhodné nebo úmyslné vodivé spojení mezi vodičem a zemí v soustavě s uzlem uzemněným přímo nebo přes malou impedanci.

**Zkratový proud:** nadproud v důsledku zkratu v elektrické soustavě.

**Předpokládaný zkratový proud:** proud, který by protékal obvodem, kdyby byl zkrat nahrazen ideálním spojením se zanedbatelnou impedancí bez změny napájení.

**Souměrný zkratový proud:** efektivní hodnota střídavé souměrné složky předpokládaného zkratového proudu se zanedbanou eventuální aperiodickou složkou proudu.

**Počáteční souměrný rázový zkratový proud  $I_k''$ :** efektivní hodnota střídavé souměrné složky předpokládaného zkratového proudu v okamžiku vzniku zkratu, při konstantní impedanci

**Počáteční souměrný rázový zkratový výkon  $S_k''$ :** pomyslná hodnota definována jako součin počátečního souměrného rázového zkratového proudu  $I_k''$ , jmenovitého napětí  $U_n$  a součinitele  $\sqrt{3}$ : Pak tedy  $S_k'' = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_k''$ .

**Nárazový zkratový proud  $i_p$ :** maximální možná okamžitá hodnota předpokládaného zkratového proudu.

**Souměrný zkratový vypínací proud  $i_b$ :** efektivní hodnota úplné periody souměrné složky předpokládaného zkratového proudu v okamžiku oddělení kontaktů prvního pólu spínacího zařízení.

**Ustálený zkratový proud  $I_k$ :** efektivní hodnota zkratového proudu, který zůstává po odeznění přechodného jevu.

**Ekvivalentní elektrický obvod:** model určený k popisu chování pomocí sítě ideálních prvků.

**Jmenovité napětí sítě  $U_n$ :** sdružené napětí, kterým je síť označena a k němuž vztahují provozní charakteristiky.

**Napětí ekvivalentního zdroje  $cU_n/\sqrt{3}$ :** napětí ideálního zdroje přiložené v místě zkratu v sousledné složkové soustavě pro výpočet zkratového proudu, jedná se o jediné aktivní napětí sítě.

**Napěťový součinitel  $c$ :** poměr mezi napětím ekvivalentního napěťového zdroje a jmenovitým napětím sítě  $U_n$  děleným  $\sqrt{3}$ .

**Elektricky vzdálený zkrat:** zkrat, při kterém velikost souměrné složky předpokládaného zkratového proudu zůstává v podstatě konstantní.

**Elektricky blízký zkrat:** zkrat, při kterém příspěvek alespoň jednoho synchronního stroje k předpokládanému počátečnímu souměrnému rázovému zkratovému proudu překračuje dvojnásobek jmenovitého proudu stroje, nebo zkrat, při kterém příspěvek asynchronních motorů překračuje 5% počátečního souměrného rázového zkratového proudu.

#### **Zkratová impedance v místě F**

**Sousledná zkratová impedance  $\underline{Z}_{(1)}$  trojfázové střídavé soustavy:** impedance sousledné složkové soustavy viděná z místa zkratu.

**Zpětná zkratová impedance  $\underline{Z}_{(2)}$  trojfázové střídavé soustavy:** impedance zpětné složkové soustavy viděná z místa zkratu.

**Netočivá zkratová impedance  $\underline{Z}_{(0)}$  trojfázové střídavé soustavy:** impedance netočivé složkové soustavy viděná z místa zkratu; zahrnuje trojnásobek impedance  $\underline{Z}_{(N)}$  mezi uzlem transformátoru a zemí.

**Zkratová impedance  $\underline{Z}_k$  trojfázové střídavé soustavy:** zkrácené označení pro souslednou zkratovou impedanci  $\underline{Z}_{(1)}$  pro výpočet proudů při trojfázovém zkratu.

#### **Zkratová impedance elektrického zařízení**

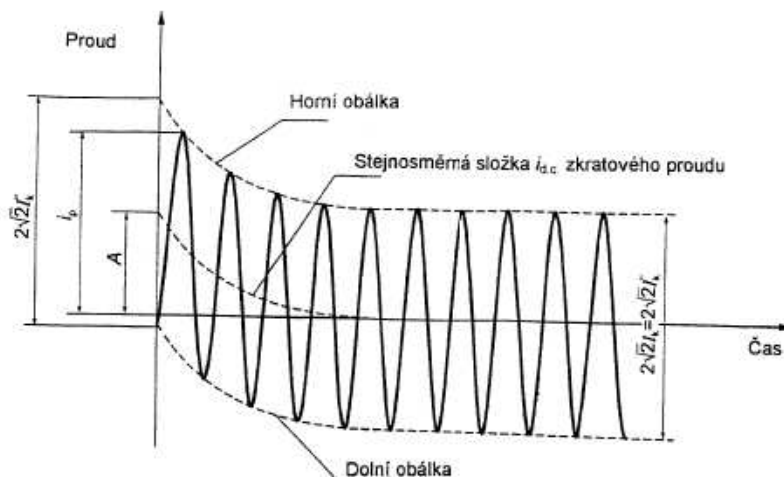
**Sousledná zkratová impedance  $\underline{Z}_{(1)}$  elektrického zařízení:** poměr fázového napětí a zkratového proudu příslušné fáze elektrického zařízení při napájení ze souměrné sousledné složkové soustavy napětí.

**Zpětná zkratová impedance  $\underline{Z}_{(2)}$  elektrického zařízení:** poměr fázového napětí a zkratového proudu příslušné fáze elektrického zařízení při napájení ze souměrné zpětné složkové soustavy napětí.

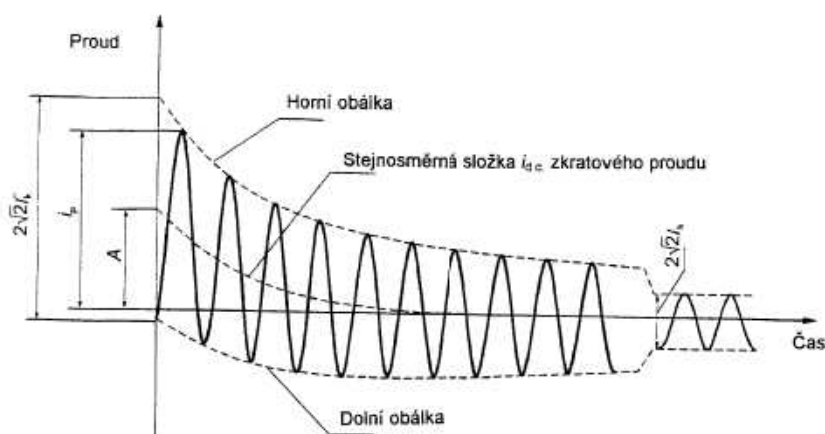
**Netočivá zkratová impedance  $\underline{Z}_{(0)}$  elektrického zařízení:** poměr napětí proti zemi a zkratového proudu jedné fáze elektrického zařízení při napájení ze střídavého napěťového zdroje, přičemž tři paralelní fázové vodiče jsou použity pro proud vycházející ze zdroje a čtvrtý vodič a/nebo zem tvoří společné zpětné vedení.

**Minimální doba vypnutí  $t_{\min}$ :** nejkratší čas mezi počátkem zkratového proudu a přerušením kontaktu prvního vypínacího pólu spínacího přístroje.

**Ekvivalentní oteplovací zkratový proud  $I_{th}$ :** efektivní hodnota proudu, který má stejné tepelné účinky a stejnou dobu trvání jako skutečný zkratový proud, který může obsahovat stejnosměrnou složku a časem se mění.



Obrázek 5.3-1 Průběh zkratového proudu elektricky vzdáleného zkratu s konstantní střídavou složkou



Obrázek 5.3-2 Průběh zkratového proudu elektricky blízkého zkratu s klesající střídavou složkou

### 5.3.2 Předpoklady výpočtu zkratových proudů dle ČSN EN 60909-0

Norma nám pro výpočet zkratových proudů umožňuje použít pět zjednodušení. I když tyto předpoklady neodpovídají přesně dané skutečnosti, přesnost výpočtů je vyhovující.

Zjednodušení dle ČSN EN 60909-0:

- Po dobu trvání zkratového proudu se nemění typ zkratu, tj. trojfázový zkrat zůstává trojfázovým a zkrat mezi fází a zemí zůstává po celou dobu zkratu zkratem mezi fází a zemí.
- Po dobu zkratu nedochází k žádné změně v síti.
- Uvažují se impedance transformátorů pro přepínače odboček v základní poloze. To je přípustné, protože je zaveden korekční součinitel pro impedance  $K_T$  pro síťové transformátory.
- Odpory oblouku se neuvažují.
- Všechny kapacity vedení a paralelní admitance a netočivé statické zátěže jsou zanedbány vyjma paralelních admitancí v netočivé soustavě.

### 5.3.3 Metoda výpočtu zkratových proudů dle ČSN EN 60909-0

Norma udává dvě možnosti výpočtu a to metodu ekvivalentního napětového zdroje v místě zkratu nebo metodu použití souměrných složek.

Metoda ekvivalentního napětového zdroje v místě zkratu spočívá v zavedení jediného aktivního napětí v soustavě. Místo synchronních a asynchronních strojů a síťových napáječů budeme uvažovat jejich vnitřní impedance.

Ekvivalentní napětí zdroje v místě zkratu:

$$\frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3}}$$

kde:  $U_n$  .... Jmenovité napětí sítě na straně zkratu

$c$  ... napětový součinitel, viz tabulka 1

$\sqrt{3}$  ... koeficient

**Tabulka 5.3-1 Napětový součinitel  $c$**

Jmenovité napětí U <sub>n</sub>	Napět'ový součinitel c pro výpočet	
	maximální hodnota zkratových proudů c <sub>max</sub> <sup>1)</sup>	minimální hodnota zkratových proudů c <sub>min</sub>
Nízké napětí 100 V až 1000 V	1,05 <sup>3)</sup> 1,10 <sup>4)</sup>	0,95
Vysoké napětí > 1kV až 35 kV	1,10	1,00
Velmi vysoké napětí <sup>2)</sup> > 35 kV		
<div>1) c<sub>max</sub>U<sub>n</sub> by neměl překročit nejvyšší napětí U<sub>m</sub> pro zařízení energetických soustav.</div> <div>2) Pokud není jmenovité napětí definováno, potom c<sub>max</sub>U<sub>n</sub> = U<sub>m</sub> nebo c<sub>min</sub>U<sub>n</sub> = 0,9xU<sub>m</sub>.</div> <div>3) Pro soustavy nízkého napětí s tolerancí +6% například pro soustavy přecházející z 380 V na 400 V.</div> <div>4) Pro soustavy nízkého napětí s tolerancí +10%.</div>		

Při použití metody použití souměrných složek předpokládáme symetrickou strukturu elektrického zařízení (transpozice vedení). Zjišťujeme proudy v každé fázi vzniklé superponováním proudů tří souměrných složkových soustav:

- Proud sousledné složkové soustavy  $\underline{I}_{(1)}$
- Proud zpětné složkové soustavy  $\underline{I}_{(2)}$
- Proud netočivé složkové soustavy  $\underline{I}_{(0)}$

### 5.3.4 Výpočet vnitřních impedancí prvků elektrické sítě

Jak již bylo řečeno, při výpočtu zkratových proudů se jednotlivé prvky sítě nahradí impedancemi, vytvoří se náhradní obvod, který je ekvivalentní obvodu skutečnému a pomocí uvedených zjednodušení se vypočítají zkratové proudy. Jelikož elektrická síť může obsahovat spoustu prvků, uvedu výpočet impedancí pouze pro prvky související s touto diplomovou prací.

**Impedance nadřazené soustavy:**

$$Z_s = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot I_{k3}''} = \frac{c \cdot U_n^2}{S_k''} \dots [\Omega; V; A; VA]$$

kde:      c...      napěťový součinitel dle ČSN EN 60909-0  
                $U_n$ ...    jmenovité napětí sítě [V]  
                $I_{k3}''$ ...    rázový zkratový proud soustavy [A]  
                $S_k''$ ...    zkratový výkon soustavy [MVA]

Z impedance můžeme následně vypočítat odpor  $R_s$  a reaktanci  $X_s$  a to:

$$U \text{ vn sítí} \quad X_s = 0,987 \cdot Z_s \dots [\Omega]$$

$$R_s = 0,16 \cdot X_s \dots [\Omega]$$

$$U \text{ vvn sítí} \quad X_s = 0,995 \cdot Z_s \dots [\Omega]$$

$$R_s = 0,1 \cdot X_s \dots [\Omega]$$

**Impedance kabelů:**

$$Z_L = R_L + jX_L \dots [\Omega]$$

kde:       $Z_L$ ...    impedance vedení [ $\Omega$ ]  
                $R_L$ ...    činný odpor vedení [ $\Omega$ ]  
                $X_L$ ...    reaktance vedení [ $\Omega$ ]

Činný odpor kabelu určíme odečtením hodnoty odporu na km délky  $R_K$  [ $\Omega/\text{km}$ ] z katalogu a z celkové délky kabelové trasy  $l$  [km]:

$$R_L = R_K \cdot l \dots [\Omega; \Omega/\text{km}; \text{km}]$$

Reaktanci kabelu určíme z katalogové hodnoty indukčnosti kabelu na 1 km délky  $L_K$  [mH/km] a z celkové délky kabelové trasy:

$$X_L = \omega \cdot L_K \cdot l = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_K \cdot l \dots [\Omega; \text{Hz}; \text{H}/\text{km}; \text{km}]$$

kde:       $f$ ...      frekvence sítě [Hz]  
                $\omega$ ...    úhlová rychlost [rad/s]

**Impedance reaktoru:**

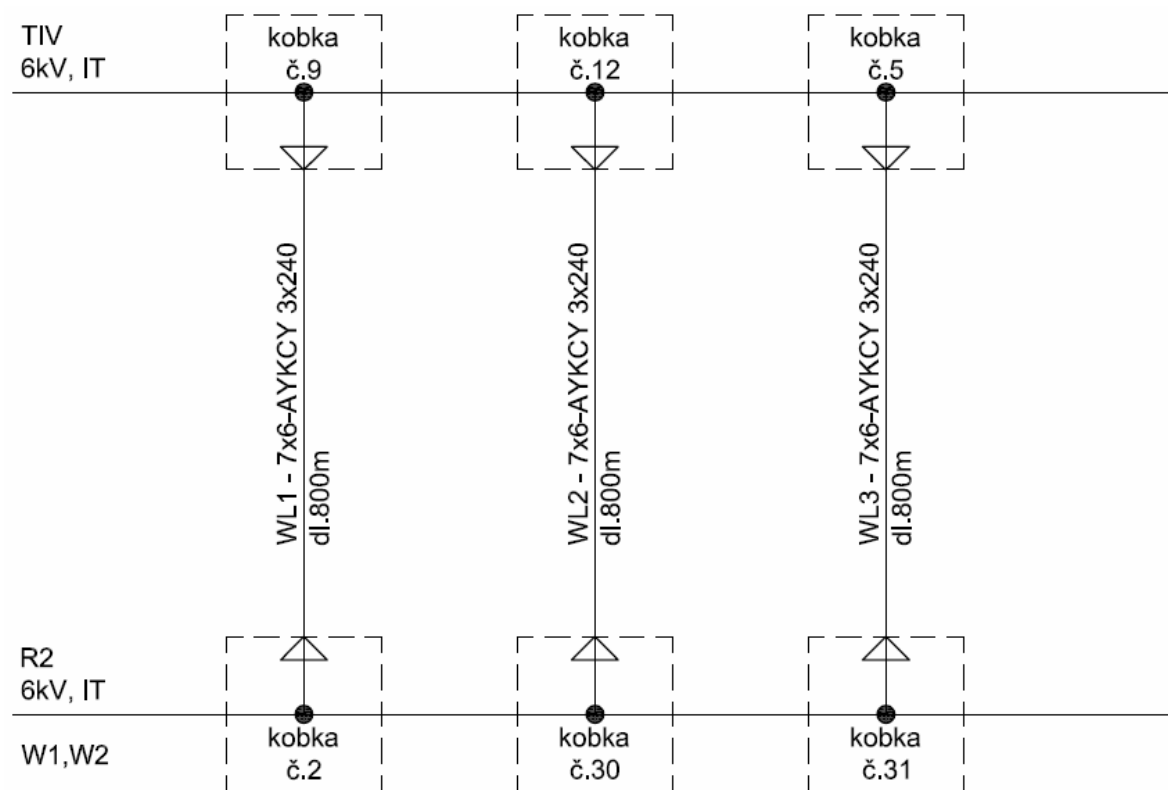
$$Z_R = \frac{u_{kR} \cdot U_n}{100 \cdot \sqrt{3} \cdot I_{Rn}} [\Omega; \% ; V; A]$$

kde:       $u_{kR}$ ...    procentní napětí nakrátko [%]  
                $U_n$ ...    jmenovité napětí [V]  
                $I_{Rn}$ ...    jmenovitý proud reaktoru [A]

### 5.3.5 Výpočet impedancí pro rozvodnu R2

Rozvodna R2 může být napájena buď z rozvodny TIV nebo z rozvodny EII. Obě tyto rozvodny při výpočtu budu považovat za samostatnou napájecí síť. Obě rozvodny mají zkratový výkon 600MVA.

**Schéma napájení rozvodny R2 z rozvodny TIV:**



Obrázek 5.3-3 Schéma napájení rozvodny R2 z rozvodny TIV

**Náhradní impedance rozvodny TIV:**

$$Z_{SIV} = \frac{c \cdot U_n^2}{S_k} = \frac{1,1 \cdot 6^2 \cdot 10^6}{600 \cdot 10^6} = 0,066 \Omega$$

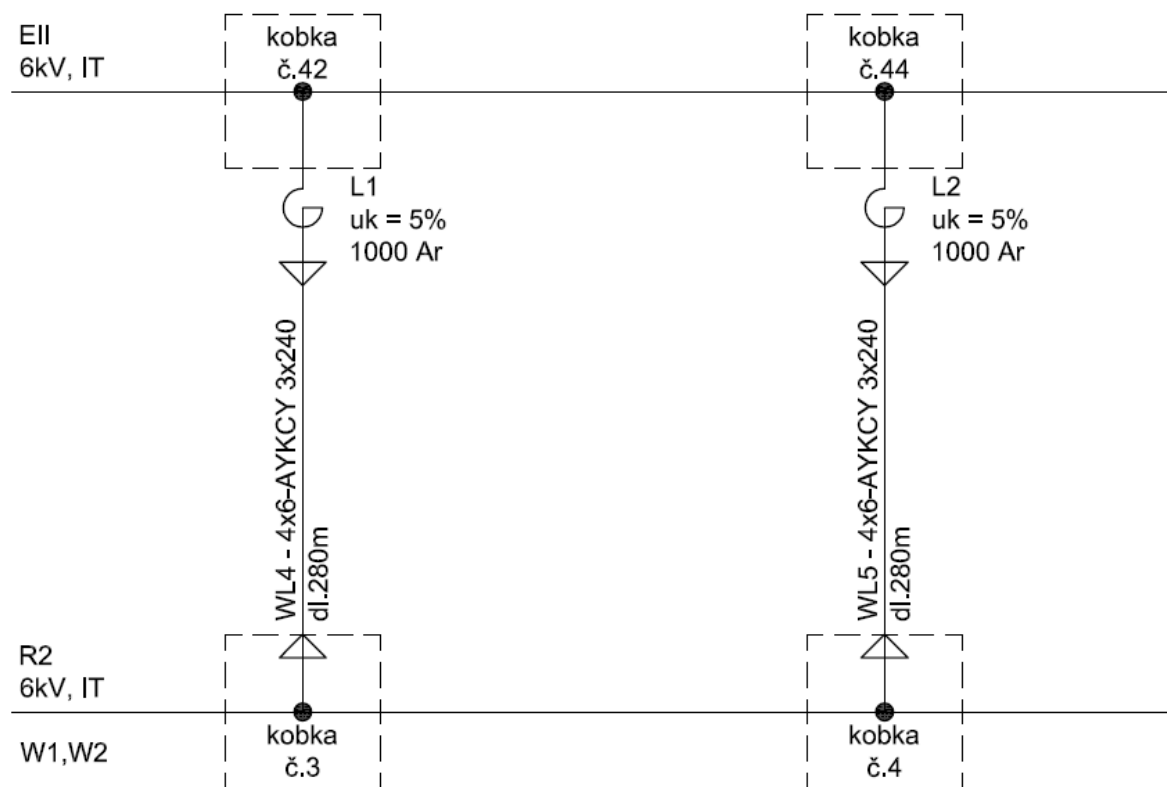
z náhradní impedance si dále vypočtu reaktanci:

$$X_{SIV} = 0,987 \cdot Z_{IV} = 0,987 \cdot 0,066 = 0,065 \Omega$$

z vypočtené reaktance určím činný odpor:

$$R_{SIV} = 0,987 \cdot X_{IV} = 0,16 \cdot 0,065 = 0,01 \Omega$$



**Schéma napájení rozvodny R2 z rozvodny EII:****Obrázek 5.3-4 Schéma napájení rozvodny R2 z rozvodny EII****Náhradní impedance rozvodny EII:**

$$Z_{SEII} = \frac{c \cdot U_n^2}{S_k''} = \frac{1,1 \cdot 6^2 \cdot 10^6}{600 \cdot 10^6} = 0,066 \Omega$$

z náhradní impedance si dále vypočtu reaktanci:

$$X_{SEII} = 0,987 \cdot Z_{SEII} = 0,987 \cdot 0,066 = 0,065 \Omega$$

z vypočtené reaktance určím činný odpor:

$$R_{SEII} = 0,987 \cdot X_{SEII} = 0,16 \cdot 0,065 = 0,01 \Omega$$

**Náhradní impedance kabelového vedení:**

Všechny přívody jsou provedeny kabely 6-AYKCY 3x240, liší se v délce a v počtu paralelních větví. Uvedené parametry kabelu jsem čerpal z katalogu spol. nkt cables [20].

Činný odpor jednoho kilometru kabelu:

$$R_k = 0,125 \Omega \text{km}^{-1}$$

Indukčnost jednoho kilometru kabelu:

$$L_k = 0,284 \text{mHkm}^{-1}$$

Potom induktivní reaktance jednoho kilometru kabelu bude:

$$X_k = \omega \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0,281 \cdot 10^{-3} = 0,088 \Omega \text{km}^{-1}$$

Impedance kabelu na jeden kilometr délky:

$$Z_k = R_k + jX_k [\Omega \text{ km}^{-1}]$$

$$Z_k = 0,125 + j0,088 \Omega \text{ km}^{-1}$$

Impedance kabelových vedení WL1 až WL3:

$$Z_{WL1} = Z_{WL2} = Z_{WL3} = \left( \frac{R_k + jX_k}{n} \right) \cdot l = \left( \frac{0,125 + j0,088}{7} \right) \cdot 0,8 = 0,014 + j0,01 \Omega$$

Impedance kabelových vedení WL4 a WL5:

$$Z_{WL4} = Z_{WL5} = \left( \frac{R_k + jX_k}{n} \right) \cdot l = \left( \frac{0,125 + j0,088}{4} \right) \cdot 0,28 = 0,009 + j0,006 \Omega$$

**Náhradní impedance reaktoru:**

U reaktoru platí, že  $X \gg R$ , potom můžu napsat:

$$Z_R = X_R = \frac{u_{kR}}{100} \cdot \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot I_{Rn}} [\Omega; \% ; V; A]$$

Výsledná reaktance reaktoru L1 a L2:

$$X_{RL1} = X_{RL2} = \frac{u_{kR} \cdot U_n}{100 \cdot \sqrt{3} \cdot I_{Rn}} = \frac{5 \cdot 6 \cdot 10^3}{100 \cdot \sqrt{3} \cdot 10^3} = 0,173 \Omega$$

**Shrnutí vypočtených hodnot:****Tabulka 5.3-2 Vypočtené hodnoty**

<b>Zařízení</b>		<b>Základní údaje</b>	<b>R [<math>\Omega</math>]</b>	<b>X [<math>\Omega</math>]</b>
Rozvodna	TIV	600MVA; 6kV	0,01	0,065
Rozvodna	EII	600MVA; 6kV	0,01	0,065
Reaktor	L1	5%; 1000Ar; 6kV	-	0,173
Reaktor	L2	5%; 1000Ar, 6kV	-	0,173
Kabelové vedení	WL1	7x6-AYKCY 3x240; 800m	0,014	0,01
Kabelové vedení	WL2	7x6-AYKCY 3x240; 800m	0,014	0,01
Kabelové vedení	WL3	7x6-AYKCY 3x240; 800m	0,014	0,01
Kabelové vedení	WL4	4x6-AYKCY 3x240; 280m	0,009	0,006
Kabelové vedení	WL5	4x6-AYKCY 3x240; 280m	0,009	0,006

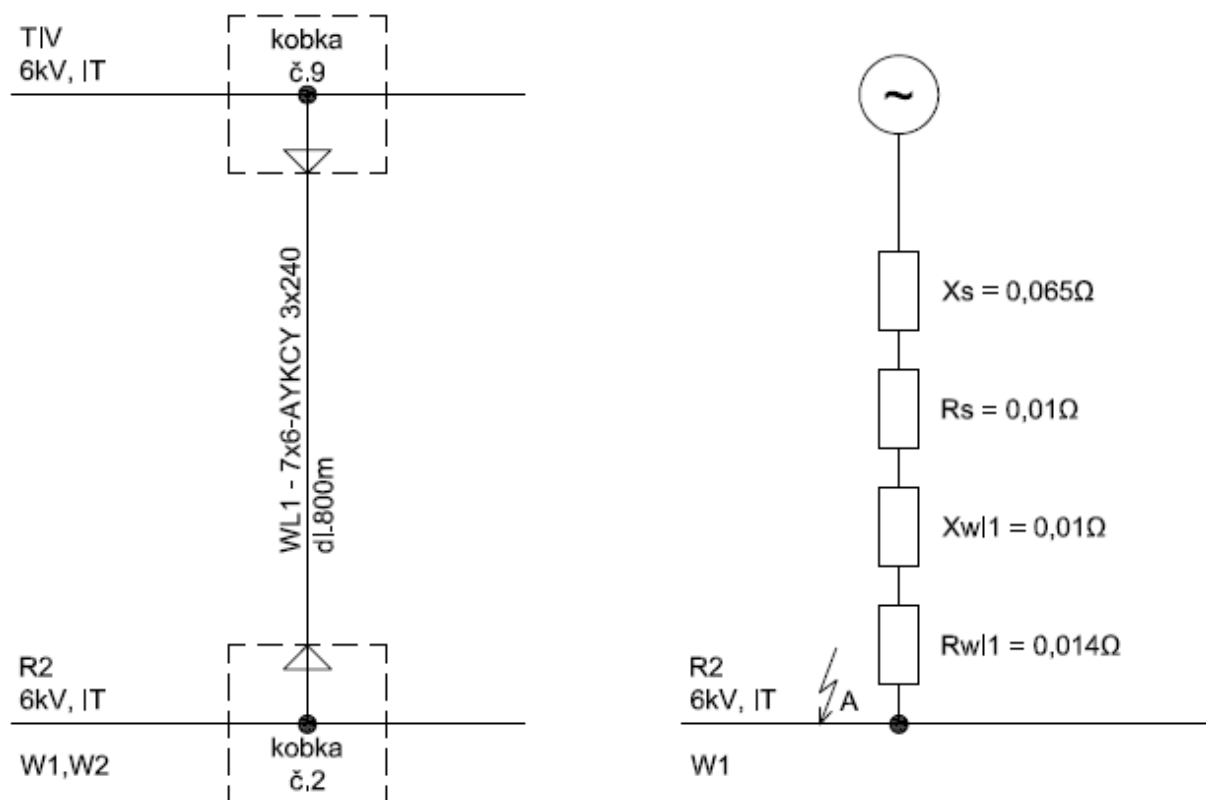
Jak je patrné z tabulky vypočtených hodnot, u kabelových vedení má značný vliv na náhradní impedanci činný odpor, zatímco u reaktoru a nadřazené sítě tvoří náhradní impedanci převážně reaktance.

Mezi kobkou č. 16 a č. 17 se nachází podélná spojka, tudíž rozvodna může být provozována jako dvě samostatné nezávislé části. Díky tomu se nabízí více možností kombinace napájení, proto budu zkratový proud počítat pro následující konfigurace:

- jeden přívod z TIV
- dva přívody z TIV
- tři přívody z TIV
- dva přívody z EII

### 5.3.6 Výpočet zkratových proudů na přípojnicích rozvodny R2

#### A) Zkratový proud pro napájení jedním přívodem z rozvodny TIV



Obrázek 5.3-5 Náhradní obvod pro napájení rozvodny R2 jedním přívodem z rozvodny TIV

Výsledná zkratová impedance je rovna:

$$Z_{1A} = Z_S + Z_{WL1} = R_S + jX_S + R_{WL1} + jX_{WL1} \dots [\Omega]$$

$$Z_{1A} = (0,01 + j0,065 + 0,014 + j0,01) \Omega$$

$$|Z_{1A}| = \sqrt{(0,01 + 0,014)^2 + j(0,065 + 0,01)^2} = 0,079 \Omega$$

Počáteční souměrný rázový zkratový proud v bodě A následně bude:

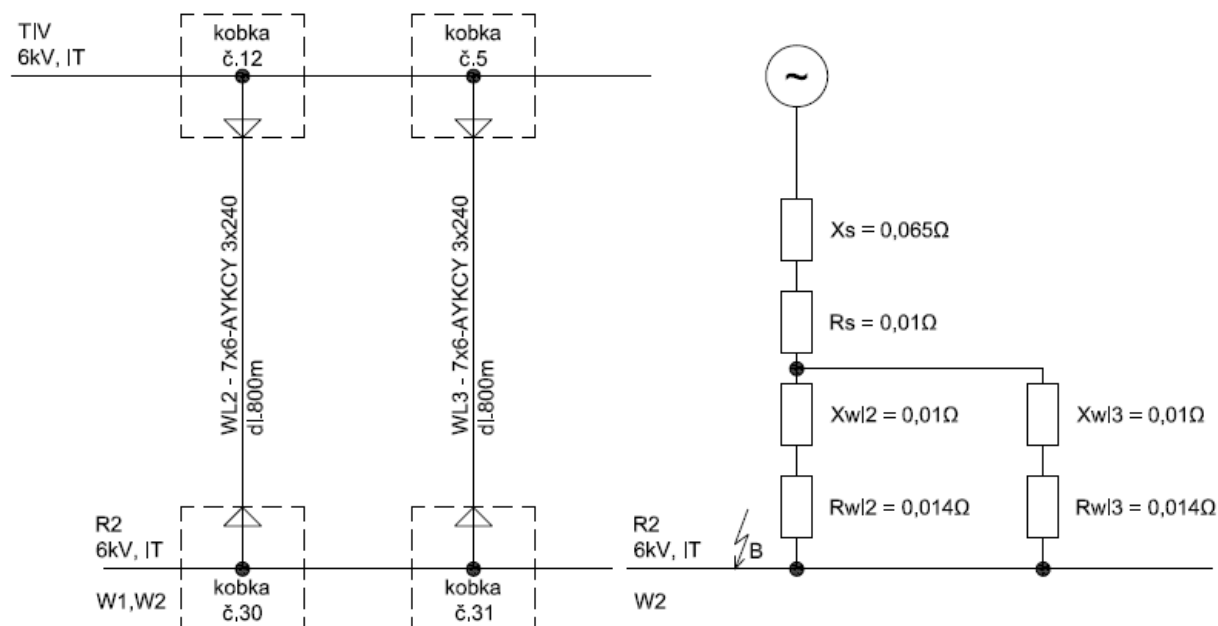
$$I''_{k3} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot |Z_1|} \dots [A; V; \Omega]$$

$$I''_{k3A} = \frac{1,1 \cdot 6000}{\sqrt{3} \cdot 0,079} = 48234 A = 48,2 kA$$

Počáteční souměrný rázový zkratový výkon v bodě A bude roven:

$$S''_{k3A} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I''_{k3A} \dots [VA; V; A]$$

$$S''_{k3A} = \sqrt{3} \cdot 6 \cdot 10^3 \cdot 48,2 \cdot 10^3 = 500909090 VA = 501 MVA$$

**B) Zkratový proud pro napájení dvěma přívody z rozvodny TIV****Obrázek 5.3-6 Náhradní obvod pro napájení rozvodny R2 dvěma přívody z rozvodny TIV**

Výsledná zkratová impedance je rovna:

$$Z_{1B} = Z_s + (Z_{WL2} \parallel Z_{W3}) = Z_s + \frac{Z_{WL2}}{2} = R_s + jX_s + \frac{R_{WL2} + jX_{WL2}}{2} \dots [\Omega]$$

$$Z_{1B} = (0,01 + j0,065 + \frac{0,014 + j0,01}{2}) \Omega$$

$$|Z_{1B}| = \sqrt{(0,01 + 0,007)^2 + j(0,065 + 0,005)^2} = 0,072 \Omega$$

Počáteční souměrný rázový zkratový proud v místě zkratu B následně bude:

$$I''_{k3} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot |Z_1|} \dots [A; V; \Omega]$$

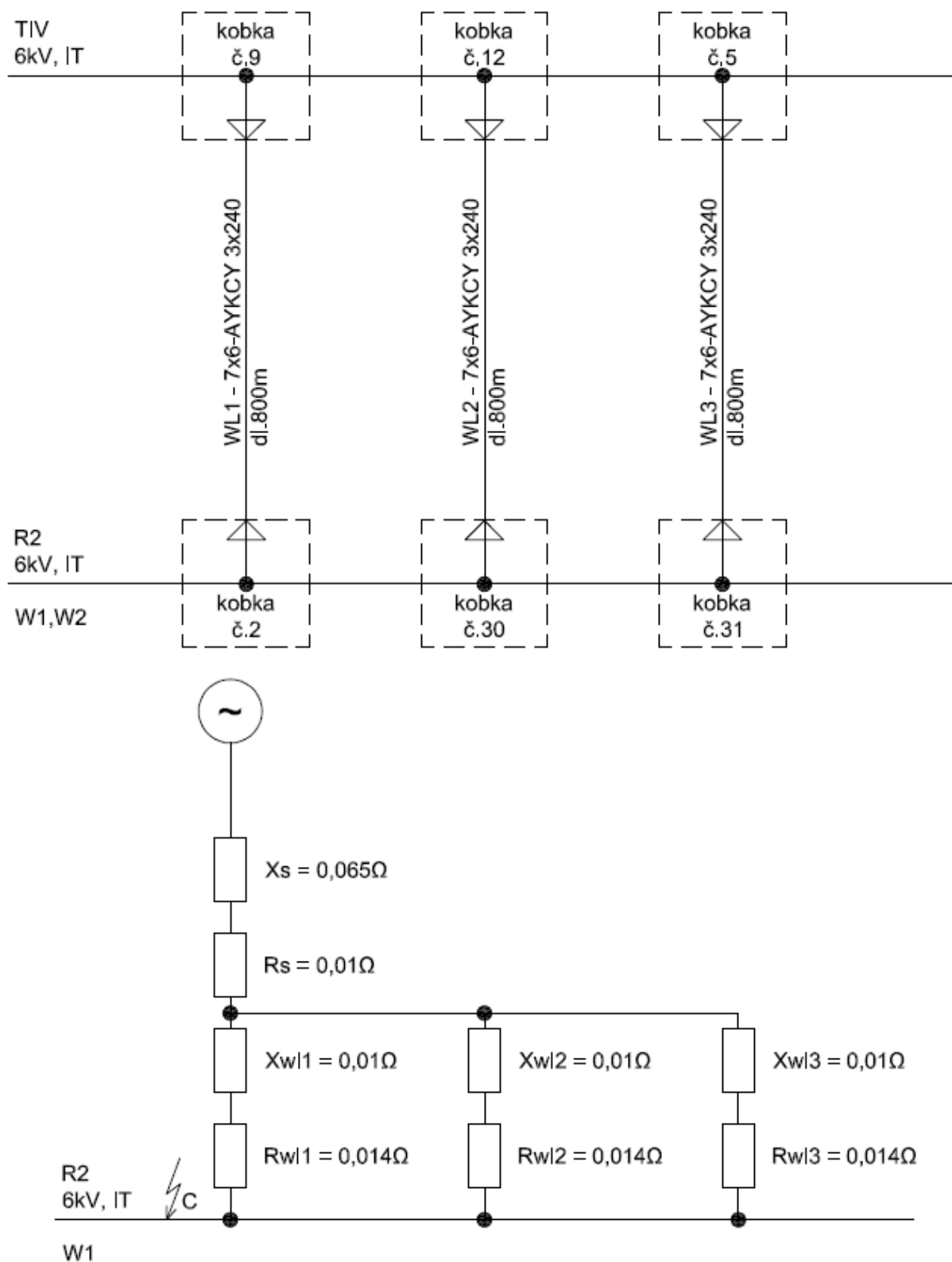
$$I''_{k3B} = \frac{1,1 \cdot 6000}{\sqrt{3} \cdot 0,072} = 52923 A = 52,9 kA$$

Počáteční souměrný rázový zkratový výkon v bodě B bude roven:

$$S''_{k3B} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I''_{k3B} \dots [VA; V; A]$$

$$S''_{k3B} = \sqrt{3} \cdot 6 \cdot 10^3 \cdot 52,9 \cdot 10^3 = 549752926 VA = 550 MVA$$

## C) Zkratový proud pro napájení třemi přívody z rozvodny TIV



Obrázek 5.3-7 Náhradní obvod pro napájení rozvodny R2 třemi přívody z rozvodny TIV

Výsledná zkratová impedance je rovna:

$$Z_{1C} = Z_s + (Z_{WL1} \parallel Z_{WL2} \parallel Z_{W3}) = Z_s + \frac{Z_{WL1}}{3} = R_s + jX_s + \frac{R_{WL1} + jX_{WL1}}{3} \dots [\Omega]$$

$$Z_{1C} = (0,01 + j0,065 + \frac{0,014 + j0,01}{3}) \Omega$$

$$|Z_{1C}| = \sqrt{(0,01 + 0,005)^2 + j(0,065 + 0,003)^2} = 0,070 \Omega$$

Počáteční souměrný rázový zkratový proud v místě zkratu C následně bude:

$$I''_{k3} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot |Z_1|} \dots [A; V; \Omega]$$

$$I''_{k3C} = \frac{1,1 \cdot 6000}{\sqrt{3} \cdot 0,070} = 54436 A = 54,4 kA$$

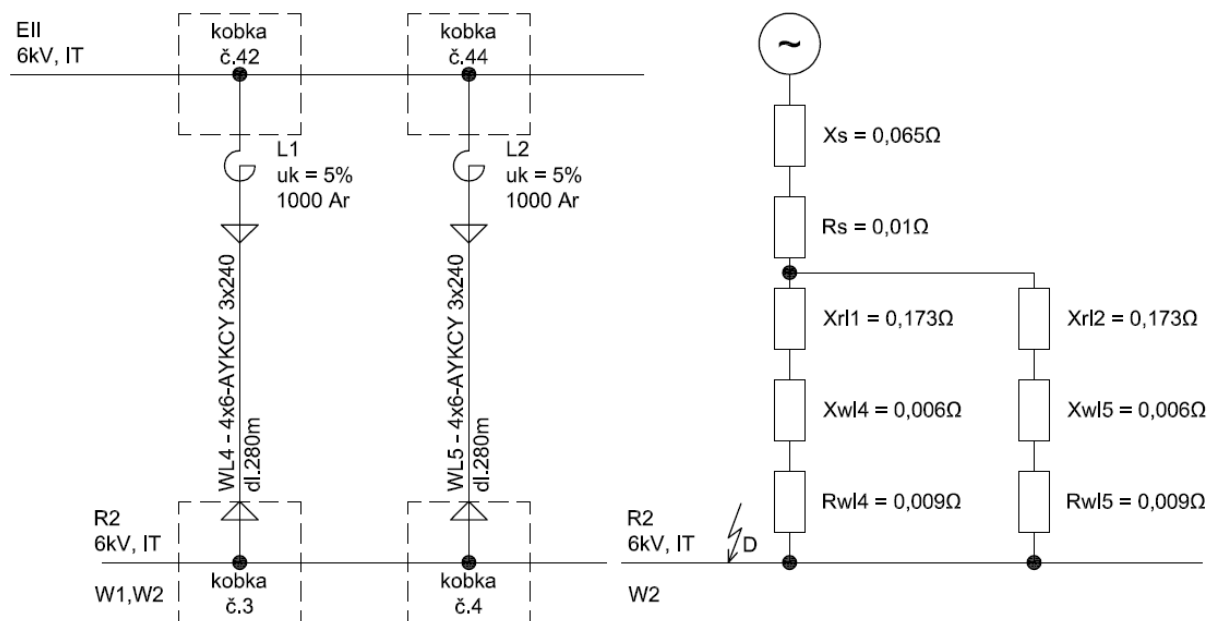
Počáteční souměrný rázový zkratový výkon v bodě C bude roven:

$$S''_{k3C} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I''_{k3C} \dots [VA; V; A]$$

$$S''_{k3C} = \sqrt{3} \cdot 6 \cdot 10^3 \cdot 54,4 \cdot 10^3 = 565341383 VA = 565 MVA$$

### Shrnutí výpočtu pro napájení z rozvodny TIV:

Při napájení rozvodny R2 z rozvodny TIV je nejvyšší zkratový proud při konfiguraci napájení všemi třemi přívody a sepnuté podélné spojce. V provozu se spíše používá provoz s rozepnutou podélnou spojkou a napájení kobek č. 1 až č. 16 jedním přívodem a napájení kobek č. 17 až č. 32 dvěma přívody. Ale s ohledem na možnost napájení všemi třemi přívody a sepnuté podélné spojce se dané přístroje musejí nedimenzovat na tuto variantu. Při dalších výpočtech dimenzování přístrojů se bude vycházet z hodnoty  $I_{kc}'' = 54,4 kA$ .

**D) Zkratový proud při napájení dvěma přívody z rozvodny EII****Obrázek 5.3-8 Náhradní obvod pro napájení rozvodny R2 dvěma přívody z rozvodny EII**

Výsledná zkratová impedance je rovna:

$$Z_{1D} = Z_S + ((Z_{RL1} + Z_{WL4}) \parallel (Z_{RL2} + Z_{WL5})) = Z_S + \frac{Z_{RL1} + Z_{WL4}}{2} =$$

$$= R_S + jX_S + \frac{R_{WL4} + j(X_{WL4} + X_{RL1})}{2} \dots [\Omega]$$

$$Z_{1D} = (0,01 + j0,065 + \frac{0,009 + j(0,006 + 0,173)}{2}) \Omega$$

$$|Z_{1D}| = \sqrt{(0,01 + 0,0045)^2 + j(0,065 + 0,0895)^2} = 0,155 \Omega$$

Počáteční souměrný rázový zkratový proud v místě zkratu D následně bude:

$$I''_{k3} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot |Z_1|} \dots [A; V; \Omega]$$

$$I''_{k3D} = \frac{1,1 \cdot 6000}{\sqrt{3} \cdot 0,155} = 24584 A = 25,9 kA$$

Počáteční souměrný rázový zkratový výkon v bodě D bude roven:

$$S''_{k3D} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I''_{k3D} \dots [VA; V; A]$$

$$S''_{k3D} = \sqrt{3} \cdot 6 \cdot 10^3 \cdot 25,9 \cdot 10^3 = 269160965 VA = 269 MVA$$



**Shrnutí výpočtu pro napájení z rozvodny EII:**

Při napájení z rozvodny EII se předpokládá použití obou přívodů najednou. Proto mám uvedený výpočet pouze pro tuto konfiguraci. Základní hodnotou pro další výpočet je tedy počáteční souměrný rázový zkratový proud  $I_{kD}'' = 25,9 \text{ kA}$ .

**5.3.7 Shrnutí vypočtených hodnot****Tabulka 5.3-3 Vypočtené hodnoty počátečního souměrného rázového zkratového proudu**

Místo zkratu v bodě	Počáteční zkratový proud v místě zkratu $I_k$ [kA]	Počáteční zkratový výkon v místě zkratu $S_k$ [MVA]
A (jeden přívod z TIV )	48,2	501
B (dva přívody z TIV )	52,9	550
C (tři přívody z TIV )	54,4	565
D (dva přívody z EII )	25,9	269

Při napájení z rozvodny EII vzniknou na přípojnicích rozvodny R2 poloviční zkratové proudy oproti napájení z rozvodny TIV. Je to dáno použitím reaktorů v přívodech v rozvodně EII, které značně omezují zkratové proudy. Už při pohledu na výše uvedenou tabulku je zcela patrné, že při dimenzování rozvodny R2 podle přívodu z rozvodny TIV budeme muset použít mnohem odolnější a tudíž i dražší zařízení, oproti dimenzování podle přívodů z rozvodny EII. Nyní je potřeba vypočítat minimální základní jmenovité hodnoty přístrojů pro použití v rozvodně R2.

**5.3.8 Minimální požadavky na použité přístroje**

Elektrické přístroje musíme s ohledem na zkraty kontrolovat:

- 1) s ohledem na vypínací schopnost
- 2) s ohledem na mechanické namáhání

**Kontrola vypínací schopnosti elektrického zařízení ( vypínače ):**

Musí platit, že  $I_{SC} \geq I_b$ , tedy vypínací schopnost elektrického zařízení je větší nebo rovna hodnotě souměrného vypínacího zkratového proudu a dále  $I_{ZAP} \geq i_p$ , tedy zapínací schopnost elektrického zařízení musí být větší nebo rovna hodnotě nárazového zkratového proudu.

Přístroje se vyrábějí v určité jmenovité řadě, pro vypínací schopnost elektrických přístrojů vn tomu odpovídá následující řada: 12,5 kA; 13,1 kA; 16 kA; 20 kA; 25 kA; 31,5 kA; 40 kA; 50 kA; 63 kA a 72 kA. Každé této hodnotě odpovídá řada jmenovitých hodnot zkratové zapínací schopnosti elektrických přístrojů vn. Tyto hodnoty jsou vyšší oproti hodnotám vypínací schopnosti a odpovídají zhruba 2,5 násobku vypínací schopnosti, pak je řada vyráběných přístrojů takováto: 31 kA; 33 kA; 40 kA; 50 kA; 63 kA; 80 kA; 100 kA; 125 kA; 160 kA; 198 kA.

Pro souměrný vypínací zkratový proud platí:

$$I_b = I_k'' \text{ [kA]}$$

Pro nárazový zkratový proud platí:

$$I_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_k'' \text{ [kA]}$$

$\kappa$  ... součinitel nárazového zkratového proudu, pro poměr R/X nebo X/R

$$\kappa = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \frac{R}{X}}$$

nebo také:

**Tabulka 5.3-4 Součinitel nárazového zkratového proudu  $\kappa$**

Místo zkratu	$\kappa$ [-]
Za alternátory do 55 MW <sup>1)</sup>	1,95
V soustavě zvn, vvn	1,7
V soustavě vn	1,6
V soustavě nn	1,4
V kabelovém rozvodu nn <sup>2)</sup>	1,3
<b>Za transformátory<sup>3)</sup></b>	
vvn/vn nebo vn/nn	1,7
vn/nn do 250 kVA ( včetně )	1,3
vn/nn do 400 kVA ( včetně )	1,6
vn/nn do 630 kVA ( včetně )	1,5
<sup>1)</sup> pro zkrat v blízkosti alternátoru nebo za blokovým transformátorem <sup>2)</sup> pro zkrat vzdálený od napájecího alternátoru nebo transformátoru (impedance mezi místem zkratu a napájecím transformátorem je větší než 10% ze sousledné složky impedance zkratového obvodu) <sup>3)</sup> pro zkrat v blízkosti sekundární strany transformátoru (impedance mezi místem zkratu a napájecím transformátorem je do 10% sousledné složky impedance zkratového obvodu)	

#### **Kontrola mechanického namáhání elektrického zařízení ( vypínače ):**

Musí platit, že  $I_{DYN} \geq i_p$ , tedy dynamický proud elektrického zařízení je větší nebo roven hodnotě nárazového zkratového proudu.

Jmenovitá řada přístrojů podle dynamického proudu je shodná s řadou zapínacího zkratového proudu.

Pro nárazový zkratový proud platí:

$$i_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_k'' \text{ [kA]}$$

#### **Dimenzování přístrojů podle počátečního souměrného rázového zkratového proudu $I_{k3C}''$ :**

$$I_b = I_{k3C}'' = 54,4 \text{ kA}$$

$$i_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k3C}'' = 1,6 \cdot \sqrt{2} \cdot 54,4 = 123,1 \text{ kA}$$

Z vypočtených hodnot vyplývá, že elektrická zařízení v rozvodně musejí mít minimálně tyto jmenovité hodnoty:

$$I_{SC} \geq 54,4 \text{ kA}$$

$$I_{ZAP} \geq 123,1 \text{ kA}$$

$$I_{DYN} \geq 123,1 \text{ kA}$$

**Dimenzování přístrojů podle počátečního souměrného rázového zkratového proudu  $I_{k3D}''$ :**

$$I_b = I_{k3D}'' = 25,9 \text{ kA}$$

$$i_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k3C}'' = 1,6 \cdot \sqrt{2} \cdot 25,9 = 58,6 \text{ kA}$$

Z vypočtených hodnot vyplývá, že elektrická zařízení v rozvodně musejí mít minimálně tyto jmenovité hodnoty:

$$I_{SC} \geq 25,9 \text{ kA}$$

$$I_{ZAP} \geq 56,8 \text{ kA}$$

$$I_{DYN} \geq 56,8 \text{ kA}$$

**Jmenovité hodnoty přístrojů:**

Podle předchozích výpočtů je nyní nutné navrhnout přístroje s konkrétními hodnotami jmenovitého vypínacího zkratového proudu, jmenovitého zapínacího zkratového proudu a jmenovitého dynamického zkratového proudu do rozvodny R2.

V následující tabulce jsou uvedeny jmenovité hodnoty zkratových proudů, které musejí mít přístroje v rozvodně R2. Tabulka je rozdělena do dvou řádků, podle maximálního počátečního souměrného rázového zkratového proudu, který by vznikl při napájení z rozvodny TIV nebo z rozvodny EII. Jmenovité hodnoty přístrojů jsem volil podle vyráběné řady přístrojů, která je uvedena na stránce 27.

**Tabulka 5.3-5 Jmenovité hodnoty zkratových proudů přístrojů v rozvodně R2**

	<b><math>I_{SC}</math> [kA]</b>	<b><math>I_{ZAP}</math> [kA]</b>	<b><math>I_{DYN}</math> [kA]</b>
$I_{k3C}'' = 54,4 \text{ kA}$	63	160	160
$I_{k3D}'' = 25,9 \text{ kA}$	31,5	80	80

**5.3.9 Zhodnocení výpočtů**

Počáteční souměrný rázový zkratový proud se počítal pro čtyři varianty napájení ze dvou rozvodů. Tři varianty byly napájení z rozvodny TIV a jedna varianta byla napájení z rozvodny EII. Při výpočtech nebylo uvažováno současné napájení z obou rozvodů. Dle normy ČSN EN60909-0 by byl celkový zkratový proud v rozvodně R2  $I_{k3V}''$ , při napájení z obou rozvodů, roven součtu jednotlivých již vypočtených zkratových proudů neboli:  $I_{k3V}'' = \sum I_{k3}''$ .

Z vypočtených hodnot se nedimenzovaly přístroje podle nejvyšších hodnot každé rozvodny. Při napájení z rozvodny EII postačí přístroje s vypínacím jmenovitým proudem 31,5 kA, zatímco při napájení z rozvodny TIV bude zapotřebí přístrojů se jmenovitým vypínacím proudem 63 kA, což je o tři stupně vyšší hodnota. Dá se tedy předpokládat, že i pořizovací cena těchto přístrojů bude vyšší.

Podle těchto výpočtů lze provést tři opatření a to:

- 1) napájení pouze z rozvodny EII – při využití této možnosti bude stačit dimenzovat přístroje pouze na vypínací proud 31,5 kA. Tím se dosáhne finančních úspor při modernizaci, ale rozvodna nebude zálohována, takže při výpadku EII bude bez napájení celý provoz napájený z rozvodny R2
- 2) vložení reaktorů do přívodu z TIV – využití této varianty bude znamenat snížení zkratového proudu, přístroje se budou moci nedimenzovat na nižší vypínací zkratový

proud a zároveň zůstane zachována variabilita možnosti napájení. Nevýhodou jsou vyšší investiční náklady z důvodu pořízení tří reaktorů.

- 3) dimenzování přístrojů na 63 kA – při této možnosti zůstane zachována možnost napájení rozvodny R2 ze dvou rozvodů TIV a EII, nevýhodou budou vyšší investiční náklady, jelikož většina standardně vyráběných přístrojů má nižší zkratovou odolnost.

Jako nejvhodnější řešení se jeví vřazení reaktoru do přívodu z TIV. Jednak tím dojde k odlehčení přístrojů, které budou moci být dimenzovány na nižší vypínací zkratový proud, zůstane zachována variabilita napájení rozvodny R2 a zároveň budou omezené zkratové proudy i pro podružné rozvaděče a provoz.

Následující kapitole se bude zabývat návrhem reaktorů, které by se vřadili do přívodu z TIV a dimenzováním přístrojů na nižší zkratový proud.

## 6 Návrh reaktorů v přívodu z TIV

Hlavním úkolem reaktorů v elektrické síti je omezení zkratových proudů. Vyrábějí se v provedení 1f nebo 3fázové, v dnešní době již i nízkoztrátové.

Jejich vinutí bývá nejčastěji z hliníku, který má nižší procento přídavných ztrát a menší hmotnost než měď. Nejčastější provedení bývá vnitřní, ale vyrábějí se i venkovní. U třífázových reaktorů jsou póly uloženy buď svisle nad sebou, nebo vedle sebe. Výjimečně jsou reaktory olejové, jinak ve většině případů se jedná o reaktory suché.

Procentní napětí nakrátko se pohybuje v rozmezí 5 až 8 %. Jmenovité proudy se pohybují až v řádech kA [19].

### 6.1 Návrh reaktoru

Návrh reaktoru se bude provádět pro variantu, při které je rozvodna R2 napájena pouze jedním přívodem z rozvodny TIV. Tím navrhnu reaktor pouze pro jeden přívod.

Při návrhu reaktoru se vychází ze vztahu::

$$Z_1 + Z_R = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot k \cdot I_{k3}''}$$

kde:  $Z_1 \dots$  vypočtená impedance zkratového obvodu  
 $Z_R \dots$  počítaná impedance reaktoru  
 $c \dots$  napěťový součinitel  
 $k \dots$  koeficient požadovaného omezení zkratového proudu (0 – 1)  
 $I_{k3}'' \dots$  vypočtený počáteční souměrný rázový zkratový proud

Po dosazení dostaneme:

$$0,079 + Z_R = \frac{1,1 \cdot 6 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 0,5 \cdot 48,2 \cdot 10^3}$$

$$0,079 + Z_R = 0,158$$

$$Z_R = 0,079 \Omega$$

Jak jsem uvedl již v předcházejících kapitolách, může se vztahu mezi impedancí a reaktancí reaktoru napsat:

$$Z_R = X_R = 0,079 \Omega$$

Podle této hodnoty z katalogu reaktorů vybereme následující reaktory:

**Tabulka 6.1-1 Parametry vzduchových reaktorů [19]**

Vzduchový reaktor		
$u_k$	5 %	6 %
$I_r$	2500 A	2500 A
$U_n$	6000 V	6000 V
$X_R$	0,069 $\Omega$	0,083 $\Omega$

Výpočet reaktance navrhnutých reaktorů:

$$X_{R5\%} = \frac{u_{kR}}{100} \cdot \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot I_{rn}} [\Omega; \% ; V; A]$$

$$X_{R5\%} = \frac{5}{100} \cdot \frac{6000}{\sqrt{3} \cdot 2500} = 0,069\Omega$$

$$X_{R6\%} = \frac{u_{kR}}{100} \cdot \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot I_{rn}} [\Omega; \% ; V; A]$$

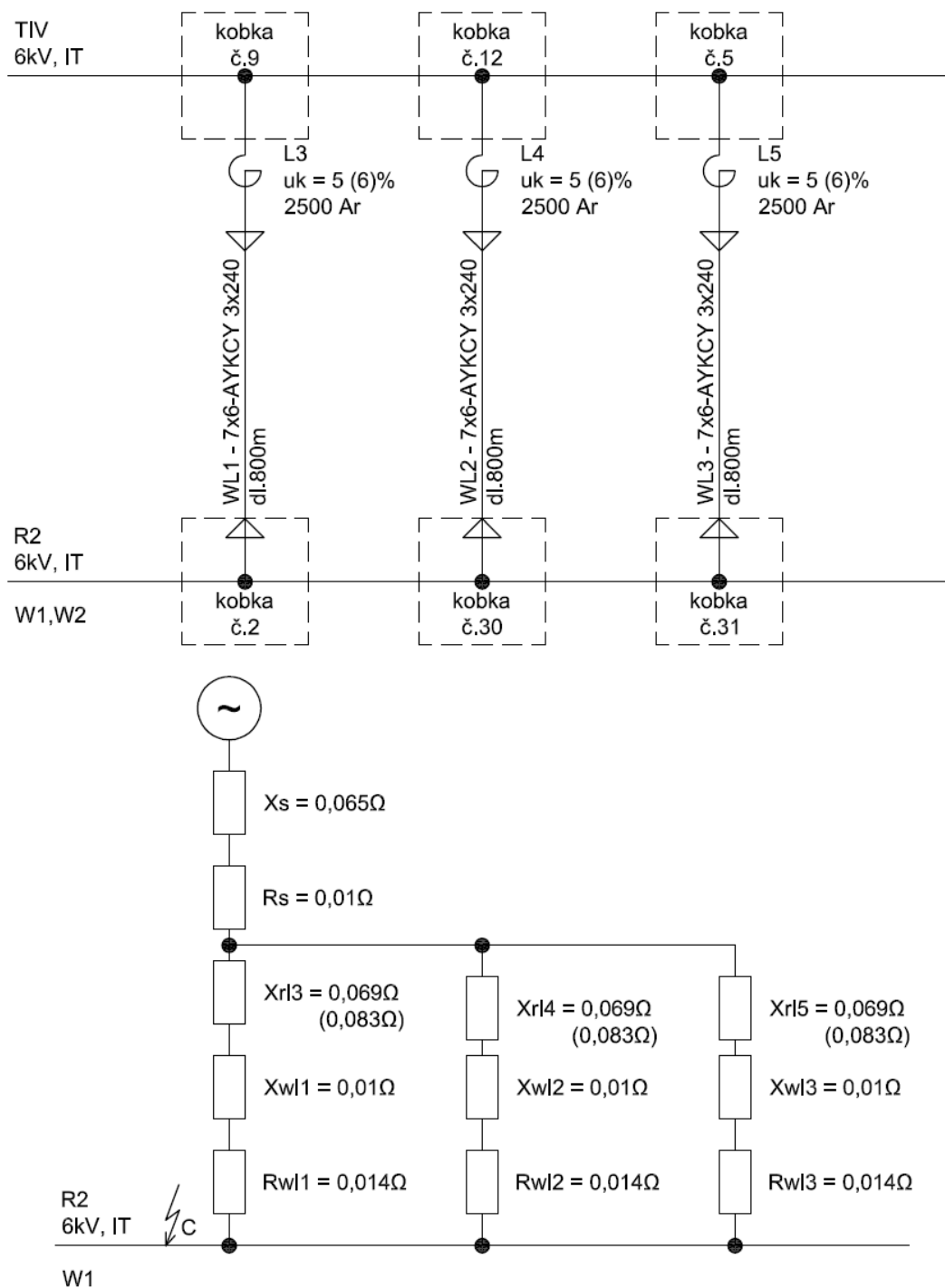
$$X_{R6\%} = \frac{6}{100} \cdot \frac{6000}{\sqrt{3} \cdot 2500} = 0,083\Omega$$



Obrázek 6.1-1 Suchý omezovací 3 fázový reaktor pro vnitřní instalaci společnosti EST.

## 6.2 Výpočet zkratového proudu v místě zkratu C

Schéma sítě se nyní změnilo o tři reaktory L3 až L5, které jsou zapojeny v sérii s jednotlivými přívody do rozvodny R2.



Obrázek 6.2-1 Náhradní obvod napájení rozvodny R2 z rozvodny TIV po zapojení reaktorů

**Výsledná zkratová impedance pro reaktor s  $u_k = 5\%$  je rovna:**

$$Z_{1CR5\%} = Z_S + ((Z_{LR3} + Z_{WL1}) \parallel (Z_{LR4} + Z_{WL2}) \parallel (Z_{LR5} + Z_{WL3})) =$$

$$= Z_S + \frac{Z_{LR3} + Z_{WL1}}{3} = R_S + jX_S + \frac{R_{WL1} + j(X_{RL} + X_{WL1})}{3} \dots [\Omega]$$

$$Z_{1CR5\%} = (0,01 + j0,065 + \frac{0,014 + j(0,069 + 0,01)}{3}) \Omega$$

$$|Z_{1CR5\%}| = \sqrt{(0,01 + 0,005)^2 + j(0,065 + 0,026)^2} = 0,092 \Omega$$

Počáteční souměrný rázový zkratový proud v místě zkratu C následně bude:

$$I''_{k3} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot |Z_1|} \dots [A; V; \Omega]$$

$$I''_{k3CR5\%} = \frac{1,1 \cdot 6000}{\sqrt{3} \cdot 0,097} = 41418 A = 41,4 kA$$

Počáteční souměrný rázový zkratový výkon v bodě C bude roven:

$$S''_{k3CR5\%} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I''_{k3CR5\%} \dots [VA; V; A]$$

$$S''_{k3CR5\%} = \sqrt{3} \cdot 6 \cdot 10^3 \cdot 41,4 \cdot 10^3 = 430241420 VA = 430 MVA$$

**Výsledná zkratová impedance pro rektor s  $u_k = 6\%$  je rovna:**

$$Z_{1CR6\%} = Z_S + ((Z_{LR3} + Z_{WL1}) \parallel (Z_{LR4} + Z_{WL2}) \parallel (Z_{LR5} + Z_{WL3})) =$$

$$= Z_S + \frac{Z_{LR3} + Z_{WL1}}{3} = R_S + jX_S + \frac{R_{WL1} + j(X_{RL} + X_{WL1})}{3} \dots [\Omega]$$

$$Z_{1CR6\%} = (0,01 + j0,065 + \frac{0,014 + j(0,083 + 0,01)}{3}) \Omega$$

$$|Z_{1CR6\%}| = \sqrt{(0,01 + 0,005)^2 + j(0,065 + 0,031)^2} = 0,097 \Omega$$

Počáteční souměrný rázový zkratový proud v místě zkratu C následně bude:

$$I''_{k3} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot |Z_1|} \dots [A; V; \Omega]$$

$$I''_{k3CR6\%} = \frac{1,1 \cdot 6000}{\sqrt{3} \cdot 0,097} = 39283 A = 39,3 kA$$

Počáteční souměrný rázový zkratový výkon v bodě C bude roven:

$$S''_{k3CR6\%} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I''_{k3CR6\%} \dots [VA; V; A]$$

$$S''_{k3CR6\%} = \sqrt{3} \cdot 6 \cdot 10^3 \cdot 39,3 \cdot 10^3 = 408417580 VA = 408 MVA$$



### 6.3 Shrnutí

Při výpočtu jsem došel k výsledku, že bude potřeba reaktor s  $X_R = 0,079 \Omega$ . Nejbližší hodnoty, se jmenovitým proudem  $I_R = 2500A$  a pro jmenovité napětí  $U_n = 6000V$ , jsou podle katalogu  $X_R = 0,069 \Omega$  ( $u_k = 5\%$ ) a  $X_R = 0,083 \Omega$  ( $u_k = 6\%$ ).

Při použití reaktoru s  $u_k = 5\%$  mi vyšel zkratový proud obvodu 41,4 kA. Tato hodnota převyšuje o 1,4kA hodnotu jmenovitého vypínacího zkratového proudu 40 kA, která je v normované řadě přístrojů, musel bych zvolit přístroje o stupeň výše se jmenovitým vypínacím zkratovým proudem 50 kA.

Zatímco při použití reaktoru s  $u_k = 6\%$  mi vychází výsledný zkratový proud 39,3 kA. Takže při použití tohoto reaktoru mohu použít přístroje se jmenovitým vypínacím zkratovým proudem 40 kA.

**Dimenzování přístrojů na počáteční souměrný rázový zkratový proud  $I_{k3CR6\%}$ :**

$$I_b = I_{k3CR6\%}'' = 39,3kA$$

$$i_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k3CR6\%}'' = 1,6 \cdot \sqrt{2} \cdot 39,3 = 88,9kA$$

Z vypočtených hodnot vyplývá, že elektrická zařízení v rozvodně musejí mít minimálně tyto jmenovité hodnoty:

$$I_{SC} \geq 39,3 \text{ kA}$$

$$I_{ZAP} \geq 88,9 \text{ kA}$$

$$I_{DYN} \geq 88,9 \text{ kA}$$

**Tabulka 6.3-1 Jmenovité hodnoty zkratových proudů přístrojů po vřazení reaktorů do přívodů**

	$I_{SC} \text{ [kA]}$	$I_{ZAP} \text{ [kA]}$	$I_{DYN} \text{ [kA]}$
$I_{k3CR6\%}'' = 39,3 \text{ kA}$	40	100	100

## 7 Návrh prvků kobek rozvodny R2

Jako výkonové vypínače se jmenovitým vypínacím zkratovým proudem  $I_{VYP} = 40 \text{ kA}$  použijeme vakuové vypínače Evolis 7,2 kV firmy Schneider – electric. Tyto vypínače se vyrábějí ve třech provedeních a to dvakrát pro rozvaděče a jedno provedení je modulární, vhodné pro použití do kobkové rozvodny.

Vyrábějí se ve jmenovité řadě jmenovitých proudů 630 A – 1250 A – 2500 A. Rozsah jmenovitého zkratového proudu  $I_{SC}$  je od 25 kA do 40 kA, rozsah jmenovitého zkratového proudu  $I_{ZAP}$  je od 63 kA do 100 kA, přesná řada jednotlivých jmenovitých zkratových proudů byla probrána v dřívější kapitole [12].

Odpojovače do jednotlivých kobek budou typu QAK od společnosti IVEP, a.s. Tyto přístroje se vyrábí v rozmezí jmenovitých proudů 400 A až 10 000 A. Jmenovitý krátkodobý proud u těchto přístrojů je od 16 kA až po 100 kA. Podle vypočtených hodnot budeme potřebovat odpojovače se jmenovitým krátkodobým proudem 40 kA ( 1 s ), ty se vyrábějí se jmenovitým proudem 1250 A – 1600 A – 2000 A – 2500 A.

Odpojovače mohou mít jak ruční tak i motorový pohon. Součástí odpojovače je i signalizace polohy. Izolátory mohou být buď epoxidové, nebo porcelánové. Výhodou těchto odpojovačů je rovněž to, že pólová rozteč není přesně daná, ale odvíjí se od přání zákazníka, což nám umožní přizpůsobit odpojovače výkonovým vypínačům, u kterých je tento rozměr dán výrobcem [8].

Pro ochranu jednotlivých kobek použijeme opět výrobek firmy Schneider – electric a to ochranu řady Sepam 40. Tato ochrana se vyrábí v sedmi typech pro rozvodny, transformátory, motory a generátory. Tato ochrana se vyznačuje i tím, že nejenom chrání, ale zároveň slouží k měření sítě, diagnostice sítě a zařízení, k diagnostice spínače, ovládání a monitorování a ke komunikaci. Použijeme ji pro přívodní kobky, kobku měření a kobku vývodovou [13].

Jak ochrany tak i měřicí zařízení potřebují měřit napětí a proud. K tomu se využívá PTP a PTN. Nejčastěji bývá vstupní jmenovitá hodnota u měřicích přístrojů a ochran 5 A a 100 V. Ale jednotlivá zařízení kladou jiné požadavky na PTP a PTN.

Zatímco ochrany potřebují přesnost měření při poruchových stavech, tedy většinou při překročení jmenovitých hodnot. Měřicí zařízení potřebují nejpřesnější měření při jmenovitých hodnotách. Z tohoto důvodu se používají PT s vícenásobným sekundárním vinutím.

PTP se nejčastěji používají s převodem  $x/5$ , se jmenovitým zatížením 10 VA a s třídou přesností 5P u jistících PTP a 0,5S u měřicích PTP.

PTN se nejčastěji používají s převodem  $x/\sqrt{3}/100/\sqrt{3}$ , se jmenovitým zatížením 10 VA a s třídou přesností 6P u jistících PTN a 0,5 u měřicích PTN.

V měřicí kobce bude umístěn digitální multimetr PM750 společnosti Schneider – electric. Jeho použití je všestranné a je určen k panelovému měření, podružnému měření a alokací nákladů, dálkovému monitorování elektrické instalace, harmonickému monitorování a alarmu.

V přívodních kobkách na vstupech kabelů budou připojeny odporové bleskojistky MWK 07. Jedná se o bleskojistky společnosti ABB pro vnitřní i venkovní použití. Pro rozvodnu R2 6 kV se použije bleskojistka s  $U_C = 8,8 \text{ kV}$ .

## 7.1 Kobka měření

Tato kobka bude sloužit k měření odebírané elektrické energie. Bude obsahovat dva odpojovače, šest PTN a dva analyzátoři sítě. Samotné PTP budou následně umístěny mezi kobkou č. 4 a č. 5 na přípojnících pro měřicí kobku č. 1. PTP umístěné mezi kobkou č. 28 a č. 29 budou pro měřicí kobku č. 32.

### Návrh výkonového vypínače:

Kobka měření slouží pouze pro umístění PTN a digitálního multimetru. Každému PTN bude na primární straně předřazena pojistka vn, která je již součástí samotného PTN. Pojistková vložka je typu JT6 s jmenovitým proudem 0,3 A.

### Návrh odpojovačů:

Odpojovače budou sloužit k odpojení PTN od sítě. Jelikož PTN jsou chráněny pojistkami 0,3 A, použijeme odpojovač se jmenovitým proudem 1250 A. Jedná se o nejmenší vyráběný typ odpojovače společnosti IVEP se jmenovitým krátkodobým proudem 40 kA.

### Návrh PTN:

I když je jmenovité napětí 6 kV, při přepnutí odbočky na napájecím transformátoru se napětí může zvýšit až o 10 %. Musíme tedy volit PTN s ohledem na tuto skutečnost a primární napětí PTN zvolíme 6 600 V. Pro možnost dalšího využití, použijeme trojvinutové PTN. Jedno vinutí bude jistící, jedno měřicí a poslední bude pomocné.

Převod PTN:	$6\ 600/\sqrt{3}/110/\sqrt{3}/110/\sqrt{3}/110/3$
Třída přesnosti:	0,5/0,5/6P
Jmenovitá zátěž:	15/15/50 VA

### Návrh PTP:

Jmenovitý proud rozvodny je 2 500 A. Na tuto hodnotu budeme navrhovat PTN. Z katalogu vyráběných typů určíme tento PTP:

Převod PTP:	2 500/5/5
Třída přesnosti:	0,5/5P
Jmenovitá zátěž:	10/10 VA

### Digitální multimetr:

Pro měření elektrické energie použijeme digitální multimetr PM 750 firmy Schneider-electric. Tento multimetr měří jak základní veličiny napětí proud, činný a jalový výkon, tak rovněž umí měřit

harmonické zkreslení a min. a max. hodnoty. Přístroj je rovněž vybaven rozhraním RS485 pro dálkovou komunikaci [14].

## 7.2 Kobka přívodní

Osazení přívodních kobek zůstane shodné se stávajícími přístroji. Kabele budou ukončeny na přípojnicích, která bude připojena na spodní odpojovač, na který bude napojen rovněž omezovač přepětí. Z dolního odpojovače bude propoj přípojnici na svorky výkonového vypínače. Na tomto propojí bude umístěn PTP pro příslušnou ochranu. Z výkonového vypínače budou dále dva vývody na dva odpojovače, které budou připojovat přívod na přípojnice W1 nebo W2. V Přívodních kobkách budou připojeny odporové bleskojistky MWK 07.

### 7.2.1 Kobka č. 2, č. 30 a č. 31; TIV – PŘÍVOD 1, 2 a 3

Maximální proud jedním přívodem je omezen v rozvodně TIV a to na hodnotu 2000 A. Na tuto hodnotu proudu budeme dimenzovat jmenovité proudy všech přístrojů. Jelikož jsou všechny tři přívody z rozvodny TIV do rozvodny R2 stejné, budou i přívodní kobky stejně vybavené.

#### Návrh výkonového vypínače:

Pro maximální proud 2000 A z výše uvedené řady připadá v úvahu vypínač se jmenovitým proudem 2500 A.

#### Návrh odpojovačů:

Nadproudová ochrana v přívodní kobce bude nastavena tak, aby výkonovým vypínačem a odpojovačem nemohlo protékat víc než 2000 A. Hodnota jmenovitého proudu odpojovače, podle vyráběné řady přístrojů se jmenovitým krátkodobým proudem 40 kA, bude 2000 A.

#### Návrh PTP:

U PTP budeme pro určení primárního proudu vycházet z hodnoty maximálního proudu přívodní kobky, tedy 2000 A. U PTP bude, podle řady vyráběných přístrojů, primární proud 2000 A a převod PTP bude tedy 2000/5.

Převod PTP:	2 000/5/5
Třída přesnosti:	0,5/5P
Jmenovitá zátěž?	10/10 VA

**Návrh PTN:**

PTN v přívodní kobce bude stejné jako to, které je použito v kobce měření. Bude mít teda tyto parametry:

Převod PTN:	$6\,600/\sqrt{3}/110/\sqrt{3}/110/\sqrt{3}/110/3$
Třída přesnosti:	0,5/0,5/6P
Jmenovitá zátěž:	15/15/50 VA

**Návrh ochrany:**

Pro přívodní kobku je vhodná ochrana, z řady Sepam 40, typu S42.

**7.2.2 Kobka č. 3 a č. 4; EII – PŘÍVOD 1 a 2**

Přívod z rozvodny EII má maximální proud 1000 A. Rovněž v tomto případě budou obě napájecí kobky vybaveny stejnými přístroji.

**Návrh výkonového vypínače:**

Pro maximální proud 1000 A použijeme výkonový vypínač se jmenovitým proudem 1250 A.

**Návrh odpojovačů:**

Odpojovače budou použity se jmenovitým proudem 1250 A.

**Návrh PTP:**

Principiálně bude návrh PTP stejný jako u přívodů z TIV. Primární proud PTP budeme vztahovat k maximálnímu proudu kobkou a to 1000 A. Podle této hodnoty bude použit PTP s převodem 1000/5.

Převod PTP:	1 000/5/5
Třída přesnosti:	0,5/5P
Jmenovitá zátěž?	10/10 VA

**Návrh PTN:**

PTN v přívodní kobce bude stejné jako to, které je použito v kobce měření. Bude mít teda tyto parametry:

Převod PTN:	$6\,600/\sqrt{3}/110/\sqrt{3}/110/\sqrt{3}/110/3$
Třída přesnosti:	0,5/0,5/6P
Jmenovitá zátěž:	15/15/50 VA

**Návrh ochrany:**

Pro přívodní kobku je vhodná ochrana, z řady Sepam 40, typu S42.

**7.3 Kobka vývodová**

Ve vývodových kobkách se osadí dva horní odpojovače pro přípojnice W1 a W2, za odpojovači bude následovat výkonový vypínač. Za vypínačem budou umístěna PTN s předřazenou pojistkou VN 0,3 A a PTN. Kobka bude vybavena ochranou řady Sepam 40 podle zařízení napájeného z kobky.

**7.3.1 Kobka č. 5 ILGNER III****Jmenovitý proud motoru:**

Vývodová kobka ILGNER III slouží k napájení motoru Škoda M6651 S/12 se šítkovými hodnotami:

$$P_{IN} = 3200 \text{ kW}$$

Stator: Y; 6300 V; 350A

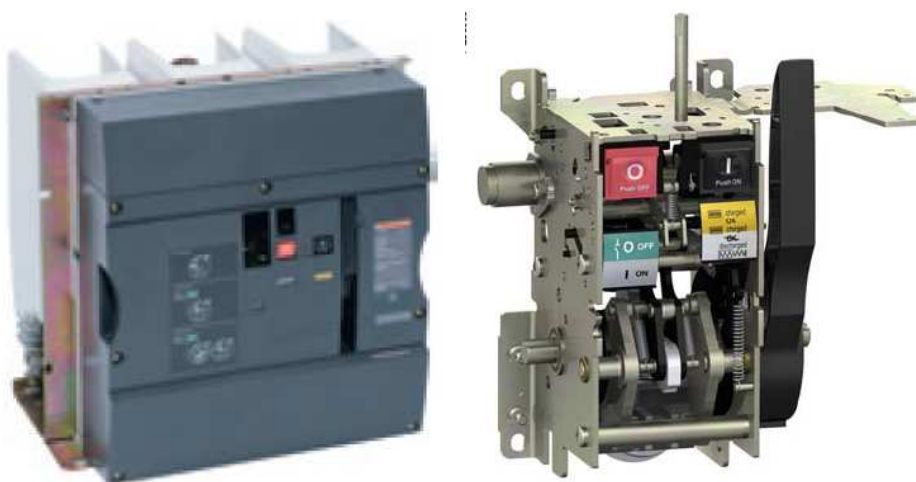
Rotor: 935 V; 2060 A

$$495 \text{ ot.min}^{-1}$$

Z těchto hodnot určíme jmenovitý proud  $I_{In} = 350 \text{ A}$ .

**Návrh výkonového vypínače:**

Pro jmenovitou hodnotu proudu motoru  $I_{In} = 350 \text{ A}$  je nejbližší vyšší hodnota jmenovitého proudu výkonového vypínače 630 A.



Obrázek 7.3-1 Výkonový vypínač Evolis 17,5 kV s detailem střádacího ústrojí

**Návrh odpojovačů:**

Podle jmenovitého proudu motoru můžeme následně vybrat z řady vyráběných odpojovačů námi požadovaný odpojovač. Pro jmenovitý proud motoru 350 A z řady odpojovačů navrhujeme odpojovač se jmenovitým proudem 1250 A.

**Návrh PTP:**

Pro jmenovitý proud motoru  $I_{ln} = 350$  A je nejbližší vyšší primární proud PTP 400 A.

Převod PTP: 400/5/5

Třída přesnosti: 0,5/5P

Jmenovitá zátěž: 10/10 VA

**Návrh PTN:**

PTN ve vývodové kobce nebudou mít, na rozdíl od PTN v kobce měření, tři sekundární vinutí, ale pouze dvě sekundární vinutí:

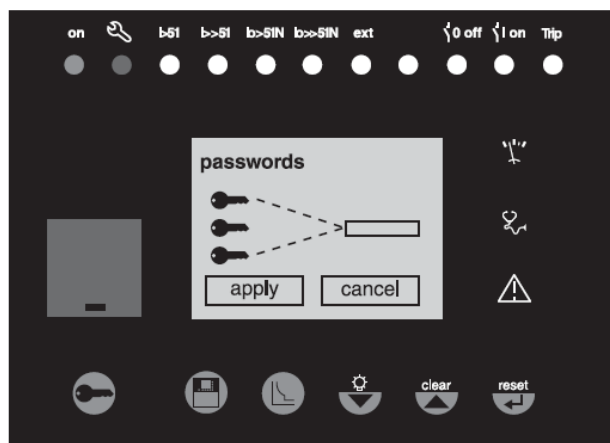
Převod PTN: 6 600/ $\sqrt{3}$ //110/ $\sqrt{3}$ //110/3

Třída přesnosti: 0,5/6P

Jmenovitá zátěž: 15/50 VA

**Návrh ochrany:**

Jelikož tato kobka slouží pro napájení motoru, použijeme ochranu Sepam 40 typu M41.



Obrázek 7.3-2 Detail čelního panelu ochrany řady Sepam 40

### 7.3.2 Kobka č. 9, č. 12, č. 23 a č. 26; Transformátor 7,9 MVA; 6 300/y/y V

Z výše jmenovaných kobek jsou napájeny trojvinutové transformátory vn/nn. Všechny čtyři transformátory mají zdánlivý výkon  $S_n = 7,9$  MVA, liší se pouze převodem. Můžeme tedy napájecí kobky těchto transformátorů navrhnout všechny stejně.

#### Výpočet primárního jmenovitého proudu $I_{1n}$ :

Jmenovitý proud transformátoru si vypočteme z jeho štítkových hodnot a to jsou:

- převod – 6300/950/950
- zdánlivý výkon -  $S_n = 7,9$  MVA

Pro jmenovitý proud transformátoru můžeme tedy napsat:

$$I_{1n} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_{1n}} = \frac{7900000}{\sqrt{3} \cdot 6300} = 724 \text{ A}$$

#### Návrh výkonového vypínače:

Podle primárního jmenovitého proudu je nejbližší vhodná hodnota jmenovitého proudu výkonového vypínače 1250A

#### Návrh odpojovačů:

Podle primárního jmenovitého proudu je jmenovitý proud odpojovače z vyráběné řady roven 1250 A.

#### Návrh PTP:

Pro jmenovitý primární proud transformátoru je nejbližší vyšší primární proud PTP 750 A.

Převod PTP:	750/5/5
Třída přesnosti:	0,5/5P
Jmenovitá zátěž:	10/10 VA

#### Návrh PTN:

Použité PTN bude mít shodné parametry jako PTN v ostatních vývodových kobkách.

Převod PTN:	6 600/ $\sqrt{3}$ //110/ $\sqrt{3}$ //110/3
Třída přesnosti:	0,5/6P
Jmenovitá zátěž:	15/50 VA



**Návrh ochrany:**

Jelikož tato kobka slouží pro napájení transformátoru, použijeme ochranu Sepam 40 typu T42.

**7.3.3 Kobka č. 14, č. 15, č. 18; vývody do rozvaděčů R3.1, R3.2 a R3.3**

Vývody do podružných skříňových rozvaděčů R3.1, R3.2 a R3.3 jsou provedeny kabely 4x6-AYKCY 3x240. Za výkonovým vypínačem je umístěn reaktor 1000 A,  $u_k = 6\%$ . Maximální odběr jednotlivých skříňových rozvaděčů je 1000 A.

**Návrh výkonového vypínače:**

Podle primárního jmenovitého proudu je nejbližší vhodná hodnota jmenovitého proudu výkonového vypínače 1250A

**Návrh odpojovačů:**

Podle primárního jmenovitého proudu je jmenovitý proud odpojovače z vyráběné řady roven 1250 A.

**Návrh PTP:**

Pro jmenovitý primární proud transformátoru je nejbližší vyšší primární proud PTP 1000 A.

Převod PTP:	1 000/5/5
Třída přesnosti:	0,5/5P
Jmenovitá zátěž:	10/10 VA

**Návrh PTN:**

Použité PTN bude mít shodné parametry jako PTN v ostatních vývodových kobkách.

Převod PTN:	6 600/ $\sqrt{3}$ //110/ $\sqrt{3}$ //110/3
Třída přesnosti:	0,5/6P
Jmenovitá zátěž:	15/50 VA

**Návrh ochrany:**

Jelikož tato kobka slouží pro napájení rozvaděče, použijeme ochranu Sepam 40 typu S40.

### 7.3.4 Kobka č. 16 – kompenzace K4

**Jmenovitý proud:**

Kompenzace K4 má jalový výkon 8,28 MVar se jmenovitým proudem 759A.

**Návrh výkonového vypínače:**

Podle primárního jmenovitého proudu je nejbližší vhodná hodnota jmenovitého proudu výkonového vypínače 1250A

**Návrh odpojovačů:**

Podle primárního jmenovitého proudu je jmenovitý proud odpojovače z vyráběné řady roven 1250 A.

**Návrh PTP:**

Pro jmenovitý primární proud transformátoru je nejbližší vyšší primární proud PTP 800 A.

Převod PTP: 800/5/5

Třída přesnosti: 0,5/5P

Jmenovitá zátěž: 10/10 VA

**Návrh PTN:**

Použité PTN bude mít shodné parametry jako PTN v ostatních vývodových kobkách.

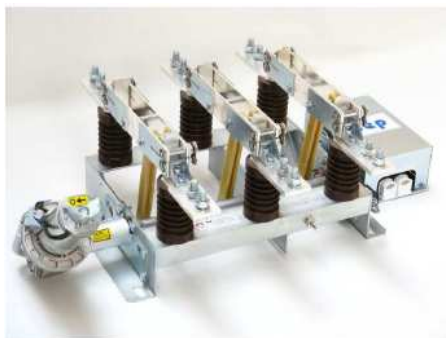
Převod PTN: 6 600/ $\sqrt{3}$ //110/ $\sqrt{3}$ //110/3

Třída přesnosti: 0,5/6P

Jmenovitá zátěž: 15/50 VA

**Návrh ochrany:**

Jelikož tato kobka slouží pro napájení vývodu, použijeme ochranu Sepam 40 typu S40.



Obrázek 7.3-3 Vnitřní odpojovač QAK společnosti IVEP

### 7.3.5 Kobka č. 17 – kompenzace K1

#### Jmenovitý proud:

Kompenzace K4 má jalový výkon 7,9 MVar se jmenovitým proudem 724A.

#### Návrh výkonového vypínače:

Podle primárního jmenovitého proudu je nejbližší vhodná hodnota jmenovitého proudu výkonového vypínače 1250A

#### Návrh odpojovačů:

Podle primárního jmenovitého proudu je jmenovitý proud odpojovače z vyráběné řady roven 1250 A.

#### Návrh PTP:

Pro jmenovitý primární proud transformátoru je nejbližší vyšší primární proud PTP 800 A.

Převod PTP: 800/5/5

Třída přesnosti: 0,5/5P

Jmenovitá zátěž: 10/10 VA

#### Návrh PTN:

Použité PTN bude mít shodné parametry jako PTN v ostatních vývodových kobkách.

Převod PTN: 6 600/ $\sqrt{3}$ //110/ $\sqrt{3}$ //110/3

Třída přesnosti: 0,5/6P

Jmenovitá zátěž: 15/50 VA

#### Návrh ochrany:

Jelikož tato kobka slouží pro napájení vývodu, použijeme ochranu Sepam 40 typu S40.



Obrázek 7.3-4 Odporová bleskojistka MWK společnosti ABB

### 7.3.6 Rezervy

Větší část rozvodny již nic nenapájí, a kobky jsou v současnosti nevyužity. V rámci modernizace rozvodny se tyto kobky navrhnou všechny stejně. Jediné, čím kobky nelze osadit jsou PTP a ochrany, jelikož není znám jmenovitý proud a typ zařízení, které budou napájet.

#### Návrh výkonového vypínače:

Podle primárního jmenovitého proudu je nejbližší vhodná hodnota jmenovitého proudu výkonového vypínače 1250A

#### Návrh odpojovačů:

Podle primárního jmenovitého proudu je jmenovitý proud odpojovače z vyráběné řady roven 1250 A.

#### Návrh PTP:

Převod PTP:	x/5/5
Třída přesnosti:	0,5/5P
Jmenovitá zátěž:	10/10 VA

#### Návrh PTN:

Použité PTN bude mít shodné parametry jako PTN v ostatních vývodových kobkách.

Převod PTN:	$6\ 600/\sqrt{3}/110/\sqrt{3}/110/3$
Třída přesnosti:	0,5/6P
Jmenovitá zátěž:	15/50 VA



Obrázek 7.3-5 Digitální multimetr PM750 společnosti Schneider-electric

## **7.4 Kobka příčného spínače a podélná spojka**

V rozvodně R2 se nacházejí dvě kobky příčného spínače a to kobka č. 11 a č. 22. Kobky budou vybaveny dvěma odpojovači, jedním výkonovým vypínačem, PTP, PTN a ochranou.

### **Návrh výkonového vypínače:**

Příčný spínač propojuje dva systémy přípojníc, musí být teda dimenzován na nejvyšší proud a to je 2 500 A. Tomu odpovídá výkonový vypínač se jmenovitým proudem 2500 A.

### **Návrh odpojovačů:**

Odpojovač se navrhne tak, aby mohl přenášet stejný proud jako výkonový vypínač. Tmu odpovídá odpojovač se jmenovitým proudem 2 500A

### **Návrh PTP:**

Pro jmenovitý primární proud kobky je nejbližší vyšší primární proud PTP 2 500 A.

Převod PTP: 2 500/5/5

Třída přesnosti: 0,5/5P

Jmenovitá zátěž: 10/10 VA

### **Návrh PTN:**

Použité PTN bude mít shodné parametry jako PTN u vývodových kobek.

Převod PTN:  $6\,600/\sqrt{3}/110/\sqrt{3}/110/3$

Třída přesnosti: 0,5/6P

Jmenovitá zátěž: 15/50 VA

### **Návrh ochrany:**

Jelikož se jedná o propoj dvou přípojníc, použijeme ochranu Sepam 40 typu S42.

## **Podélná spojka**

Podélná spojka se nachází mezi kobkami č. 16 a č. 17. Spojka se skládá pouze ze dvou odpojovačů, každého pro jednu přípojnic. Podélná spojka musí být dimenzována na jmenovitý proud rozvodny, tudíž se použijí odpojovače se jmenovitým proudem 2 500 A.

## 8 Závěr

Úkolem této diplomové práce bylo navrhnout modernizaci kobkové rozvodny 6 kV hutního závodu. Hned na začátku se nabídlo řešení předělat kobkovou rozvodnu na rozvodnu skříňovou. Tím by se docílilo zmenšení potřebného místa pro rozvodnu, zvýšila by se bezpečnost v rozvodně a omezily by se poruchové stavy. Nevýhodou tohoto řešení by byly vysoké investiční náklady oproti pouhé obnově přístrojů v jednotlivých kobkách. Proto se tato diplomová práce zabývala pouze řešením obnovení prvků v kobkách.

Prvním krokem bylo přepočítání zkratových proudů na přípojnicích rozvodny R2. Výpočet byl proveden pro možnost napájení z rozvodny TIV a EII. Při napájení z rozvodny TIV pomocí tří přívodů vyšel počáteční souměrný rázový zkratový proud  $I_{K3C}'' = 54,4$  kA. Naopak při napájení dvěma přívody z rozvodny EII byl počáteční souměrný rázový zkratový proud  $I_{K3D}'' = 24,9$  kA. Tento téměř dvojnásobný rozdíl je způsoben zařazením reaktorů v přívodu z rozvodny EII, zatímco v přívodech z rozvodny TIV reaktory vázané nejsou.

Podle těchto výsledků se další návrh rozvodny mohl ubírat třemi směry. Jako první se nabízela varianta napájení rozvodny R2 pouze z rozvodny EII, tím by se přístroje mohly navrhnout na jmenovitý krátkodobý výdržný zkratový proud 31,5 kA. Tato možnost by z pohledu investičních nákladů byla zároveň tou nejlevnější. Na druhou stranu by rozvodna R2 přišla o možnost napájení ze dvou nezávislých zdrojů. Jelikož se jedná o rozvodnu v hutním závodě, která napájí velké provozy, tato varianta nepřichází v úvahu.

Další možností byla rekonstrukce rozvodny přístroji s krátkodobým výdržným zkratovým proudem 63 kA. U této možnosti by zůstala zachována konfigurace napájení rozvodny R2, ale podstatně by se zvýšily investiční náklady. Jmenovité proudy jednotlivých přívodů a vývodu nepřekračují hodnoty  $I_n = 2000$  A. Těmto proudům odpovídají jmenovité proudy výkonových vypínačů a odpojovačů v rozmezí 630 A až 2 500 A. Tyto přístroje jsou standardně vyráběné maximálně do krátkodobého výdržného zkratového proudu 40 kA. Z toho je patrné, že přístroje použité v této variantě by musely být zhotoveny na zakázku a tím by se značně zvýšila jejich cena.

Tou poslední možností bylo omezit zkratové proudy použitím reaktorů v přívodech z rozvodny TIV. Toto řešení umožňuje zachování napájení rozvodny R2 ze dvou rozvodn TIV a EII, přístroje mohou být navrženy na nižší krátkodobý výdržný zkratový proud a zároveň by došlo k omezení zkratových proudů v podružných rozvodnách a v provozech napájených z rozvodny R2. Tato varianta se jevila jako nepřijatelnější, proto je v diplomové práci dále rozvedena.

Při výpočtu potřebné hodnoty reaktance reaktoru jsem došel k možnosti použití dvou reaktorů s parametry  $U_n = 6$  kV,  $I_n = 2,5$  kA a  $u_k = 5$  % nebo  $U_n = 6$  kV,  $I_n = 2,5$  kA a  $u_k = 6$  %. Při přepočtu počátečního souměrného rázového zkratového proudu  $I_{K3C}''$ , při použití jednotlivých reaktorů v přívodech z rozvodny TIV, jsem spočítal  $I_{K3CR5\%}'' = 41,4$  kA a  $I_{K3CR6\%}'' = 39,3$  kA. Při použití reaktoru s napětím nakrátko 5 % by přístroje v rozvodně R2 musely být dimenzovány na krátkodobý výdržný zkratový proud 50 kA. V tomto případě se stále jedná o přístroje, které nejsou standardně vyráběny, a tedy by se musely opět nechat vyrobit na zakázku. Na druhé straně při použití reaktoru s napětím nakrátko 6 %, by stačilo přístroje dimenzovat na krátkodobý výdržný zkratový proud 40 kA. Tyto přístroje už jsou běžně k dostání a jejich pořizovací náklady by tedy zatíženy atypickou výrobou.

Po shrnutí těchto základních informací je patrné, že nejlepší řešení rekonstrukce rozvodny bude vložení reaktorů s parametry  $U_n = 6 \text{ kV}$ ,  $I_n = 2,5 \text{ kA}$  a  $u_k = 6 \%$  do přívodů z rozvodny TIV, díky tomu se následně použijí přístroje se jmenovitým krátkodobým výdržným zkratovým proudem 40 kA a se jmenovitým dynamickým proudem 100 kA. Jmenovité proudy jednotlivých přístrojů jsou popsány v předcházející kapitole a zároveň jsou patrné z jednopólového schématu rozvodny R2.

Následně by měla být řešena modernizace rozvodny v komplexním pojetí, tzn. Včetně uvažování investičních a provozních nákladů. Měla by se provést multikriteriální analýza, např. CDA, který by brala v úvahu jak technické, tak i ekonomické řešení. K již výše zmiňovaným třem variantám bych ještě přidal možnost rekonstrukce rozvodny pomocí skříňových rozvaděčů. Jako hlavní kritéria bych určitě považoval zálohovatelnost napájení, omezení poruch – tedy spolehlivost provozu, životnost zařízení, ekonomickou návratnost a investici a možnost variability rozvodny.

Dalším zajímavým pokračováním této práce by byla analýza současně kompenzace rozvodny. Bylo by potřeba zjistit současný stav kompenzace, spočítat zda vyhovuje a navrhnout její řízení.